



*Univerzitetni rehabilitacijski inštitut  
Republike Slovenije - Soča*

# **Rehabilitacija / *Rehabilitation***

**Letnik XXI / supplement 1**

***Volume XXI / Supplement 1***

## **MODERNE TEHNOLOGIJE V REHABILITACIJI MODERN TECHNOLOGIES IN REHABILITATION**

**Zbornik predavanj / *Proceedings***

**33. dnevi rehabilitacijske medicine, Ljubljana, 7. in 8. april 2022**

***33<sup>rd</sup> Rehabilitation Days, Ljubljana, April 7<sup>th</sup> and 8<sup>th</sup>, 2022***



# Rehabilitacija

supplement 1 / Supplement 1, letnik XXI / Volume XXI, 2022

## Uredništvo

Glavna urednica	<i>prof. dr. Helena Burger, dr. med.</i>	(Slovenija)
Odgovorna urednica	<i>doc. dr. Katja Groleger Sršen, dr. med.</i>	(Slovenija)
Sourednika	<i>doc. dr. Metka Moharič, dr. med.</i>	(Slovenija)
	<i>doc. dr. Primož Novak, dr. med.</i>	(Slovenija)
Uredniški odbor	<i>akad. prof. dr. Tadej Bajd</i>	(Slovenija)
	<i>prof. dr. Franco Franchignoni, dr. med.</i>	(Italija)
	<i>prof. dr. Zlatko Matjačić</i>	(Slovenija)
	<i>mag. Doroteja Praznik Bračić, univ. dipl. bibl.</i>	(Slovenija)
	<i>dr. Barbara Starovasnik Žagavec, spec. klin. psih.</i>	(Slovenija)
	<i>izr. prof. dr. Urška Puh</i>	(Slovenija)
	<i>prof. dr. Guy Vanderstraeten, dr. med.</i>	(Belgija)
	<i>prof. dr. Gaj Vidmar (svetovalec za statistiko)</i>	(Slovenija)

## Založništvo

Izdajatelj in založnik	Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije - Soča, Linhartova 51, 1000 Ljubljana
Za izdajatelja	dr. Zvone Čadež, generalni direktor
Naklada	200 izvodov
Spletna izdaja	<a href="http://ibmi.mf.uni-lj.si/rehabilitacija">http://ibmi.mf.uni-lj.si/rehabilitacija</a>
ISSN	1580-9315
Tisk	Tiskarna Para d.o.o., Ljubljana
Lektorica za slovenščino	Branka Gradišar, univ. dipl. slovenistka, Tanja Povše, <i>prof.</i> , <i>Vesna Vrabič, prof. angl. in slov.</i>
Lektor za angleščino	<i>prof. dr. Gaj Vidmar</i>

Izdajanje revije sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Revijo Rehabilitacija indeksirajo COBISS, dLib.si in EBSCO.

## Namen in cilji

Rehabilitacija je nacionalni in mednarodni znanstveni in strokovni časopis, ki objavlja recenzirane prispevke z vseh področij, povezanih z rehabilitacijo. Namenjen je zdravstvenim delavcem, raziskovalcem, drugo- in tretjestopenjskim študentom ter širši javnosti, ki jih zanimajo fizikalna in rehabilitacijska medicina, merjenje funkcioniranja in izidov rehabilitacije, rehabilitacijska nega, poklicna rehabilitacija, fizioterapija, delovna terapija, rehabilitacijska psihologija, specialna pedagogika, socialno delo za zdravje v skupnosti, okoljski dejavniki vključenosti, podporne tehnologije, rehabilitacijski inženiring, šport in druge sorodne stroke oziroma vsebine. Časopis objavlja izvirna, še ne objavljena dela v obliki raziskovalnih prispevkov, prikazov primerov, komentarjev in razprav, preglednih in strokovnih prispevkov ter pisem uredništvu. Izhaja najmanj dvakrat letno. Občasno izidejo suplementi ali posebne številke, v katerih so praviloma objavljena predavanja ali povzetki predavanj z nacionalnih ali mednarodnih znanstvenih ali strokovnih srečanj. Vsi prispevki so dvojno slepo recenzirani.

## Editorial Board

<i>Editor-in-Chief</i>	<i>Prof. Helena Burger, MD, PhD</i>	(Slovenia)
<i>Managing Editor</i>	<i>Assist. Prof. Katja Groleger Sršen, MD, PhD</i>	(Slovenia)
<i>Associate Editors</i>	<i>Assist. Prof. Metka Moharič, MD, PhD</i>	(Slovenia)
	<i>Assist. Prof. Primož Novak, MD, PhD</i>	(Slovenia)
<i>Editorial Board Members</i>	<i>Acad. Prof. Tadej Bajd, PhD</i>	(Slovenia)
	<i>Prof. Franco Franchignoni, MD, PhD</i>	(Italy)
	<i>Prof. Zlatko Matjačić, PhD</i>	(Slovenia)
	<i>mag. Doroteja Praznik Bračić, univ. dipl. bibl.</i>	(Slovenia)
	<i>Barbara Starovasnik Žagavec, PhD</i>	(Slovenia)
	<i>Assoc. Prof. Urška Puh, PhD</i>	(Slovenia)
	<i>Prof. Guy Vanderstraeten, MD, PhD</i>	(Belgium)
	<i>Prof. Gaj Vidmar, PhD (statistical advisor)</i>	(Slovenia)

## Publishing

Published by	University Rehabilitation Institute, Republic of Slovenia, Linhartova 51, SI-1000 Ljubljana
Publisher Representative	Zvone Čadež, PhD, Director General
Circulation	150 copies
Web Edition	<a href="http://ibmi.mf.uni-lj.si/rehabilitacija/eng">http://ibmi.mf.uni-lj.si/rehabilitacija/eng</a>
ISSN	1580-9315
Printing	Para Ltd, Ljubljana
Reader for Slovenian	Branka Gradišar, BA in Slovene studies, Tanja Povše, BA, Vesna Vrabič, BA, PhD
Reader for English	Prof. Gaj Vidmar

Publishing of the journal is partially supported by the Slovenian Research Agency. The journal Rehabilitation is indexed by COBISS, dLib.si and EBSCO Publishing.

## Aims and Scope

Rehabilitation (Ljubljana) is a national and international scientific and professional journal that publishes peer-reviewed papers from all fields related to rehabilitation. It is intended for health professionals, researchers, undergraduate and graduate students, and general public interested in physical and rehabilitation medicine, assessment of functioning and outcomes in rehabilitation, rehabilitation nursing, vocational rehabilitation, physiotherapy, occupational therapy, rehabilitation psychology, special education, social work for community health, environmental factors of inclusion, assistive technologies, rehabilitation engineering, sports and other related fields and issues. The journal publishes original and previously unpublished work in the form of research papers, case reports, commentaries and discussions, review and technical papers, and letters to the editor. At least two issues are published per year. Occasionally, supplements or special issues are published, which usually bring lectures or their abstracts from national or international scientific or professional conferences. All the articles are double-blind peer-reviewed.

# VSEBINA/ CONTENTS

<b>SERIOUS GAME IN STROKE REHABILITATION UPORABA RESNIH IGER V REHABILITACIJI PO MOŽGANSKI KAPI</b> <i>T. Lejeune</i> .....	5
<b>UPORABA ROBOTSKIH NAPRAV V REHABILITACIJSKI OBRAVNAVI PACIENTOV PO MOŽGANSKI KAPI: KDO, KDAJ IN KAKO INTENZIVNO? USE OF ROBOTIC DEVICES IN REHABILITATION TREATMENT OF PATIENTS AFTER A STROKE: WHO, WHEN AND HOW INTENSIVE?</b> <i>N. Bizovičar, N. Goljar Kregar</i> .....	6
<b>UČINKOVITOST VADBE Z NAVIDEZNO RESNIČNOSTJO PRI PACIENTIH PO MOŽGANSKI KAPI: PREGLED SISTEMATIČNIH PREGLED OV LITERATURE EFFECTIVENESS OF VIRTUAL REALITY TRAINING IN PATIENTS AFTER STROKE: A REVIEW OF SYSTEMATIC REVIEWS</b> <i>U. Puh</i> .....	14
<b>SOFT WEARABLE ROBOTICS FOR REHABILITATION NOSLJIVA ROBOTIKA V REHABILITACIJI</b> <i>V. Vashista</i> .....	21
<b>SODOBNE METODE MERJENJA GIBANJA CONTEMPORARY METHODS OF MOVEMENT MEASUREMENT</b> <i>A. Olenšek</i> .....	22
<b>OCENJEVANJE IN URJENJE DINAMIČNEGA RAVNOTEŽJA PRI ZELO POČASNI HOJI Z UPORABO REHABILITACIJSKEGA ROBOTA ASSESSMENT AND TRAINING OF DYNAMIC BALANCING DURING VERY SLOW WALKING USING A REHABILITATION ROBOT</b> <i>M. Zadavec, A. Olenšek, Z. Matjačić</i> .....	28
<b>WEARABLE UPPER-LIMB EXOSKELETONS PASIVNI NOSLJIVI EKSOSKELETI ZA ZGORNJE UDE</b> <i>L. Grazi, E. Trigili, S. Crea, N. Vitiello</i> .....	34
<b>MODERN TECHNOLOGIES IN PROSTHETICS AND ORTHOTICS SODOBNE TEHNOLOGIJE V PROTETIKI IN ORTOTIKI</b> <i>J. Rosicky</i> .....	37
<b>UPORABA SISTEMA CAD-CAM V PROTETIKI IN ORTOTIKI PO DVAJSETIH LETIH PRAKTIČNIH IZKUŠENJ USE OF THE CAD-CAM SYSTEM IN PROSTHETICS AND ORTHOTICS AFTER TWENTY YEARS OF PRACTICAL EXPERIENCE</b> <i>U. Vesenjak, M. Nose, M. Pisek, D. Tašner, B. Boltežar, M. Mlakar</i> .....	39
<b>MOŽNOSTI UPORABE ROBOTIKE SPODNJIH UDOV V REHABILITACIJI OSEB Z OKVARO HRBTENJAČE OPTIONS OF LOWER LIMBS ROBOTICS IN REHABILITATION OF PATIENTS WITH SPINAL CORD INJURY</b> <i>K. Birk, J. Špoljar</i> .....	44
<b>MOŽNOSTI UPORABE ROBOTIKE V REHABILITACIJI ZGORNJEGA UDA PRI OSEBAH Z OKVARO HRBTENJAČE POSSIBILITIES OF USING ROBOTICS IN UPPER LIMB REHABILITATION FOR PERSONS AFTER SPINAL CORD INJURY</b> <i>U. Kidrič Sivec, T. Kafel</i> .....	50

<p><b>UČINKOVITOST ROBOTIZIRANE VADBE ZGORNJIH UDOV PRI OSEBAH Z OKVARO VRATNEGA DELA HRBTENJAČE</b>  <b>EFFECTIVENESS OF ROBOT-ASSISTED UPPER LIMB THERAPY FOR PEOPLE WITH CERVICAL SPINAL CORD INJURY</b>  <i>T. Kafel, U. Kidrič Sivec, U. Miklič, P. Grabner, A. Vesenjāk, T. Štefančič Smisl, M. Vidovič....</i></p>	54
<p><b>ROBOTSKA VADBA PRI PACIENTU S POŠKODBO BRAHIALNEGA PLETEŽA – PRIKAZ PRIMERA</b>  <b>ROBOT-ASSISTED THERAPY FOR PATIENTS WITH BRACHIAL PLEXUS INJURY – A CASE STUDY</b>  <i>E. Zgonc, Z. Prosič, K. Prislān, P. Novak.....</i></p>	61
<p><b>MODERN TECHNOLOGIES IN DYSPHAGIA REHABILITATION</b>  <b>SODOBNE TEHNOLOGIJE PRI OBRAVNAVI MOTENJ POŽIRANJA</b>  <i>Y. Inamoto .....</i></p>	67
<p><b>NOVE TEHNOLOGIJE V NEVROPSIHOLOŠKI DIAGNOSTIKI IN PSIHOLOŠKI REHABILITACIJI</b>  <b>NEW TECHNOLOGIES IN NEUROPSYCHOLOGICAL DIAGNOSTICS AND PSYCHOLOGICAL REHABILITATION</b>  <i>U. Čižman Štaba, B. Starovasnik Žagavec, V. Ana Politakis, V. Mlinarič Lešnik, K. Resnik Robida.....</i></p>	69
<p><b>MODERNA TEHNOLOGIJA ZA PODPORO PRI IZVAJANJU DNEVNIH AKTIVNOSTI</b>  <b>MODERN TECHNOLOGY SUPPORTING ACTIVITIES OF DAILY LIVING</b>  <i>M. Moharič, K. Brancelj Galič, D. Brecelj.....</i></p>	75
<p><b>UPORABA DIGITALNIH OSEBNIH POMOČNIKOV ZA LJUDI Z ZMANJŠANIMI ZMOŽNOSTMI</b>  <b>THE USE OF DIGITAL VIRTUAL ASSISTANTS FOR PEOPLE WITH DISABILITIES</b>  <i>M. Debeljak.....</i></p>	79
<p><b>OCENJEVANJE SPOSOBNOSTI ZA VOŽNJO S SODOBNO TEHNOLOGIJO</b>  <b>ASSESSING DRIVING ABILITY USING MODERN TECHNOLOGY</b>  <i>M. Sremec, T. Rozman.....</i></p>	85
<p><b>UČINKOVITOST ROBOTSKE PODPRTE VADBE ZA IZBOLJŠANJE FUNKCIJE ROKE PRI OTROKU Z OKVARO OSREDNJEGA ŽIVČEVJA: PREGLED LITERATURE</b>  <b>EFFICIENCY OF ROBOT-ASSISTED TRAINING FOR IMPROVING HAND AND ARM FUNCTION IN A CHILD WITH BRAIN IMPAIRMENT: LITERATURE REVIEW</b>  <i>K. Groleger Sršen .....</i></p>	88
<p><b>UČINKOVITOST VADBE AVTOMATIZIRANE HOJE NA LOKOMATU® PRI OTROCIH (PREGLED DELA ZADNJIH 10 LET)</b>  <b>EFFECTIVENESS OF AUTOMATED GAIT TRAINING FOR CHILDREN USING THE LOKOMAT DEVICE (OVERVIEW OF THE LAST 10 YEARS OF PRACTICE)</b>  <i>K. Groleger Sršen, V. Flander, Irena Pišek, N. Ciber, N. Majdič.....</i></p>	96

**UPORABA ELEKTRONSKIH IN RAČUNALNIŠKIH KOMUNIKACIJSKIH  
PRIPOMOČKOV PRI OTROCIH IN MLADOSTNIKI S KOMPLEKSNI  
KOMUNIKACIJSKIMI POTREBAMI**

***THE USE OF ELECTRONIC AND COMPUTER COMMUNICATION DEVICES IN  
CHILDREN AND YOUTH WITH COMPLEX COMMUNICATION NEEDS***

*N. Slana, V. Marot, N. Jelenc, B. Korošec, K. Groleger Sršen ..... 105*

**UPORABA TEHNOLOGIJE PRI OBRAVNAVI KRONIČNE NERAKAVE  
BOLEČINE OTROK IN MLADOSTNIKOV**

***USE OF TECHNOLOGY IN THE TREATMENT OF CHRONIC NON-MALIGNANT  
PAIN IN CHILDREN AND ADOLESCENTS***

*B. Horvat Rauter, S. Logar, K. Groleger Sršen..... 115*

# SERIOUS GAME IN STROKE REHABILITATION

## UPORABA RESNIH IGER V REHABILITACIJI PO MOŽGANSKI KAPI

**prof. dr. Thierry Lejeune, dr. med.**

UC Louvain, Faculty of Movement and Rehabilitation Sciences & Institut de recherche expérimentale et Clinique, Louvain, Belgium

### Abstract

A serious game is defined as a game that has education or rehabilitation as primary goal. Entertainment is a secondary goal. There is a growing interest in serious games in the field of rehabilitation, especially for stroke rehabilitation. Up to now, they are mainly dedicated to motor rehabilitation. But there is also an interesting potential for cognitive rehabilitation. Unfortunately, several terms are used to talk about serious games: exergame, videogame, rehabilitation game, ... We should then be cautious when performing bibliographic research. Various devices allow to use serious game: robot, virtual reality, tablet, motion capture system. Most devices are low-cost systems that can be used in rehabilitation centres and at home. The serious game is a means of enabling the patient to self-rehabilitate, as a complement to other therapeutic approaches, in order to intensify and prolong treatments. Moreover, serious games allow to implement the re-learning principles: adaptation of the difficulty of the game to maintain motivation and stimulate recovery, intensive task-oriented practice, multiple explicit and implicit feedbacks. They also promote patient's adherence. We recently performed a systematic review with meta-analysis assessing the effectiveness of serious game for upper limb rehabilitation after stroke (Doumas et al., 2021). This meta-analysis confirms the effectiveness of serious games on upper limb motor function and activity. This is especially true if the serious games are specifically developed for neurorehabilitation and based on neurorehabilitation principles. They are then also perceived more enjoyable and less effortful by the patients. A multi-user mode would promote their social involvement.

### Key words:

devices; motor rehabilitation; self-rehabilitation; re-learning; meta analysis

### Povzetek

*Resna igra je igra, ki je prvenstveno namenjena izobraževanju ali rehabilitaciji. Na področju rehabilitacije, še zlasti po možganski kapi, je vse več zanimanja za resne igre. Doslej so bile namenjene predvsem gibalni rehabilitaciji, a lahko bi bile koristne tudi za kognitivno rehabilitacijo. Žal se za resne igre uporablja več izrazov: igre za vadbo, video igre, rehabilitacijske igre, ... Zato moramo biti previdni pri iskanju po bibliografskih podatkovnih zbirkah. Za resne igre se lahko uporablja različne naprave: robote, navidezno resničnost, tablične računalnike, sisteme za zaznavanje gibanja. Večinoma gre za nizkocenovne sisteme, ki jih je moč uporabljati v rehabilitacijskih ustanovah ali doma. Resna igra je sredstvo, ki omogoča pacientu, da se sam rehabilitira, kar dopolnjuje druge terapevtske pristope ter krepi in podaljšuje zdravljenje. Poleg tega resne igre udeležujejo načela ponovnega učenja: prilagajanje zahtevnosti igre, da se vzdržuje motivacijo in pospešuje okrevanje, intenzivno vadbo posamezne naloge ter mnogotere izrecne in posredne povratne informacije. Resne igre tudi pomagajo pacientu vztrajati v terapevtskem procesu. Nedavno smo opravili sistematični pregled z meta analizo za oceno učinkovitosti resne igre pri rehabilitaciji zgornjih udov po možganski kapi (Doumas in sod., 2021). Ta meta analiza potrjuje učinek resne igre na funkcijo zgornjih udov in dejavnosti. To še zlasti drži, če so resne igre posebej razvite za nevrorehabilitacijo in temeljijo na nevrorehabilitacijskih načelih. V tem primeru jih pacienti tudi zaznavajo kot bolj prijetne in manj naporene. Razširitev na več igralcev bi razvijala tudi socialno vključenost.*

### Ključne besede:

*naprave; gibalna rehabilitacija; samorehabilitacija; ponovno učenje; meta analiza*



# UPORABA ROBOTSKIH NAPRAV V REHABILITACIJSKI OBRAVNAVI PACIENTOV PO MOŽGANSKI KAPI: KDO, KDAJ IN KAKO INTENZIVNO?

## USE OF ROBOTIC DEVICES IN REHABILITATION TREATMENT OF PATIENTS AFTER A STROKE: WHO, WHEN AND HOW INTENSIVE?

doc. dr. Nataša Bizovičar<sup>1, 2</sup>, dr. med., doc. dr. Nika Goljar Kregar, dr. med.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

### Povzetek

Rehabilitacijska robotika se v zadnjih dveh desetletjih hitro razvija. Pregledni članek opisuje trenutno dostopne robotske sisteme za rehabilitacijsko obravnavo zgornjega in spodnjega uda pri pacientih po možganski kapi. Pri izbiri primerne robotske naprave za nekega pacienta je pomembno poznati glavne lastnosti naprave, pacientovo raven funkcioniranja in terapevtske cilje. Vadba na robotskih napravah ugodno vpliva na motorično okrevanje funkcije zgornjega uda, hoje in ravnotežja po možganski kapi ter hkrati tudi zmanjša obremenitve terapevtov. Čeprav so prednosti tovrstnih tehnologij v primerjavi z enako količino običajne terapevtske obravnave večinoma majhne, jih je smiselno uporabiti kot del širšega rehabilitacijskega programa, pri katerem lahko pomagajo pri povečanju intenzivnosti in količine terapevtskih ukrepov. Zato se robotske naprave še vedno večinoma uporabljajo le kot del multidisciplinarnega rehabilitacijskega programa in ne morejo nadomestiti dela terapevtov.

### Ključne besede:

možganska kap; nevrorehabilitacija; rehabilitacijska robotika; motorično okrevanje

### Abstract

*The field of rehabilitation robotics has been developing rapidly over the last two decades. This review article summarises current robotic systems for lower and upper limb rehabilitation in patients after stroke. When choosing a suitable robotic device for a particular patient, it is important to know the main features of the device, the patient's level of functioning and therapeutic goals. Robotic training has a beneficial effect on the motor recovery of upper limb, walking and balance function after stroke, while also reducing the workload of therapists. Whilst the benefit of these technologies over dose-controlled conventional rehabilitation are usually small, there is a role for them as part of a broader rehabilitation programme, where they may help to increase the intensity and amount of therapy delivered. Therefore, robotic devices are still mostly used only as part of a multidisciplinary rehabilitation program and cannot replace the work of therapists.*

### Key words:

*stroke; neurorehabilitation; rehabilitation robotics; motor recovery*

## UVOD

Sodobni rehabilitacijski terapevtski postopki po možganski kapi naj bi vsebovali ponavljajočo se in intenzivno vadbo novih spretnosti, ki za pacienta predstavljajo izziv ter jih potrebuje za izvajanje funkcionalnih nalog in dejavnosti. Trenutni dokazi predvidevajo, da je potrebno veliko praktičnih izkušenj, da se doseže z izkušnjami povezana plastičnost možganov (1, 2). Nastajajo novi terapevtski postopki, s katerimi bi lahko povečali količino terapije v smislu ponovitev in intenzivnosti (3).

Področje rehabilitacijske robotike se v zadnjih dveh desetletjih hitro razvija. Razvoj delovanja robotskih naprav poteka pod vplivom rehabilitacijskih paradigem, ki omogočajo uporabo načel motoričnega učenja (4). Dosedanje raziskave so pokazale, da ima robotsko asistirana vadba podoben učinek ali zmerno korist glede na običajno terapevtsko obravnavo. Uporabo robotskih naprav pri pacientih po možganski kapi v literaturi najpogosteje opisujejo v okviru rehabilitacijske obravnave za izboljšanje funkcije zgornjega in spodnjega uda, hoje, ravnotežja, trupa ter spoznavnih sposobnosti. Vključevanje robotskih naprav v rehabilitacijsko obravnavo pacientov po možganski kapi ima dva temeljna namena:

- a) omogočanje večje količine rehabilitacijske terapije z manjšim naporom terapevta ali brez dodatne potrebe po osebju in/ali
- b) terapijo, ki je učinkovitejša v primerjavi z običajno vadbo, za izboljšanje motoričnega okrevanja (5).

Robotske naprave imajo morebitno prednost pred običajno terapevtsko obravnavo, saj lahko omogočajo bolj konsistentno vadbo, večje število ponovitev, natančnejši nadzor parametrov vadbe, vključno z vzorci gibanja in sil na pacientovo telo. Hesse in sodelavci so na primer primerjali robotsko vadbo na napravi Bi-Manu-Track z elektromiografsko (EMG) vodenim električnim draženjem paretičnega zgornjega uda pri pacientih v kroničnem obdobju po možganski kapi. Pacienti, ki so prejeli robotsko vadbo, so imeli pomembno izboljšano funkcijo zgornjega uda na motoričnem delu lestvice Fugl-Meyer. Avtorji so menili, da je vzrok za različen izid pri obeh načinih vadbe, ker so pacienti v času robotske vadbe prejeli desetkrat večje število ponovitev kot EMG skupina (6). V nekaterih primerih lahko robotske naprave zagotovijo tudi varnejše vadbene okolje. Tako bi robotska vadba morda nadomestila del terapevtskih ukrepov, ki so trenutno pod neposrednim nadzorom terapevta, kar bi lahko vplivalo tudi na nižje stroške terapij (7). Zaradi vgrajenih senzorjev različnih vrst robotske naprave omogočajo tudi povratne informacije, ki vključujejo meritve časa, hitrosti, zakasnitve odziva, natančnosti in dolžine giba, obsega in gladkosti giba ter sile, ki nastanejo med vadbo (8). To omogoča objektivno ovrednotenje izboljšanja motoričnih funkcij v času rehabilitacijske obravnave, saj pacienti in terapevti med vadbo prejmejo povratne informacije glede doseženih rezultatov v obliki grafov ali sprememb navideznega okolja. Tako se izboljšata motivacija in sodelovanje pacientov pri vadbenih programih, hkrati tovrstna vadba predstavlja tudi kognitivni izziv (9).

Morebitni negativni vidiki robotske terapije so, da so potrebne izkušnje terapevta glede upravljanja naprave; naprave so navedno drage in manj prilagodljive, kot je delo terapevta; še vedno ni na voljo dovolj kliničnih raziskav, ki bi primerjale učinke različnih vrst robotskih naprav; pacient pri robotski vadbi lahko manj aktivno sodeluje kot pri običajni terapevtski obravnavi; potrebne so tudi različne robotske naprave v različnih obdobjih kliničnega okrevanja pacienta. Trenutne robotske naprave lahko premikajo le določen segment uda in ne celega telesa, hkrati omogočajo omejeno povratno informacijo o občutljivosti in izvedbo razmeroma preprostih nalog. Za hkratno vadbo na proksimalnih in distalnih delih telesa sta trenutno potrebni dve robotski napravi z (10). Zelo malo robotskih naprav omogoča vadbo z uporabo realnih predmetov v realnem okolju, ena takih je na primer sistem Reharob (11). Zato se robotske naprave pri pacientih po možganski kapi še vedno uporabljajo le kot del multidisciplinarnega rehabilitacijskega programa in ne morejo nadomestiti dela terapevta. Rezultate raziskav je treba pazljivo interpretirati, saj je med njimi prisotna velika variabilnost glede intenzivnosti, trajanja in količine robotske vadbe, vrste terapij, značilnosti preiskovancev ter opravljenih meritev (9).

Načini vključevanja vadbe na robotskih napravah v rehabilitacijsko obravnavo pacientov po možganski kapi omogočajo več možnosti:

- a) posamezen terapevt v času vadbe na robotskih napravah hkrati nadzoruje več pacientov,
- b) neodvisna vadba pacienta na robotski napravi z občasnim nadzorom in prilagajanjem vadbe s strani terapevta in
- c) vadba na robotski napravi v domačem okolju z nadzorom terapevta na daljavo (12).

Vadba na robotskih napravah se lahko kombinira z uporabo tekočega traku, podpore telesne teže, funkcionalne električne stimulacije in navidezne resničnosti (13).

## Količina, čas in načini robotske vadbe

Rehabilitacijski pristopi bi morali upoštevati, kateri načini robotske vadbe so najučinkovitejši za stimulacijo plastičnosti možganov. Dosedanje raziskave dokazujejo, da je okrevanje po možganski kapi najhitreje v prvih desetih tednih in doseže plato od tri do šest mesecev po nastopu dogodka (14). Po drugi strani obstajajo tudi dokazi na živalskih in človeških študijah, da lahko zelo intenzivna vadba v prvih nekaj dneh po možganski kapi poslabša možgansko okvaro (15). Še vedno ostajajo nepojasnjena vprašanja, na primer katera oblika robotske vadbe je najučinkovitejša, v katerem obdobju, kako pogosto ter koliko časa je treba vaditi, da dosežemo optimalne rezultate (10). V okviru raziskav so izvajali robotsko vadbo v akutnem, subakutnem in kroničnem obdobju po možganski kapi. Večina podatkov je pokazala korist robotske vadbe v vseh treh obdobjih, učinki so bili primerljivi z običajno terapijo. Čeprav je bilo v klinične raziskave do zdaj vključenih več kot tisoč pacientov po možganski kapi, je rezultate posameznih raziskav težko primerjati med seboj. Še vedno ni poenotene metodologije glede orodij za merjenje izida zdravljenja (16).



## Vrste robotskih naprav

Pri izbiri primerne robotske naprave za nekega pacienta je pomembno poznati glavne lastnosti naprave, pacientovo raven funkcioniranja in terapevtske cilje. Veliko vrst različnih robotskih naprav je, ki se med seboj zelo razlikujejo glede na način mehanske zasnove, števila in stopenj prostosti gibanja ter načina upravljanja (17). Robotske naprave glede na njihovo mehansko strukturo delimo v dve skupini:

- eksoskeletne naprave**, ki omogočajo natančno določitev kinematične konfiguracije človeka in s tem neodvisen nadzor vsakega posameznega človeškega sklepa ter fiziološke gibe,
- končne efektorske sisteme**, pri katerih robotska naprava razvije silo le na najbolj distalni točki, prek katere je robot pritrjen (npr. stopalo je pritrjeno na podnožni plošči) in se njeni sklepi ne skladajo s človeškimi sklepi (18) (Tabela 1).

Naprave je mogoče sproti programirati glede na pacientove potrebe, ko se pojavi motorično okrevanje. Odvisno od vrste naprave, so te lahko namenjene pacientom v vseh obdobjih rehabilitacijske obravnave, od akutnega do kroničnega obdobja, in z različno stopnjo motorične okvare (19). Gandolfi in sodelavci so po pregledu literature glede uporabe robotskih naprav v nevrorehabilitacijski obravnavi ugotovili, da so za zgornji ud najpogosteje uporabljeni končni efektorski sistemi, za spodnji ud pa eksoskeletne naprave. Številne naprave so še vedno v obliki prototipa in tudi nimajo CE certifikata (20).

## Zgornji ud

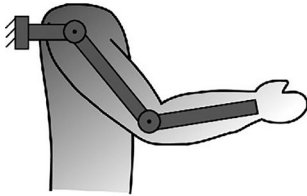
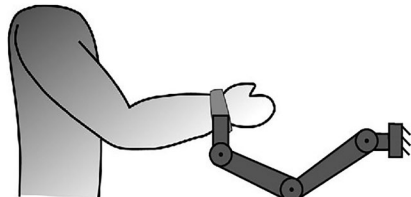
Robotske naprave za rehabilitacijsko obravnavo zgornjega uda lahko vplivajo na izboljšanje motoričnih funkcij zgornjega uda, pasivnega obsega gibljivosti in prehodno zniževanje mišičnega tonusa ter lahko zagotavljajo tudi upor med izvedbo giba (21).

Največkrat se uporabljajo pri pacientih z zmerno do hudo parezo zgornjega uda, čeprav so uporabne tudi pri pacientih z boljšo funkcijo zgornjega uda, in sicer za izboljšanje mišične moči in spretnosti gibanja. Za vadbo **gibov v ramenskem obroču in komolcu** se uporabljajo MIT-Manus (Interactive Motion Technologies, Cambridge, MA), MIME (Staubli Unimation Inc., Duncan, South Carolina), NeReBot (Mechatronics, Padova, Italy), InMotion Arm® (Bionik Laboratories, Watertown, MA), ReoGoTM (Motorika Medical Ltd, Israel). Za **gibanje prstov** se uporabljajo Reha-Digit (HASOMED GmbH, Magdeburg, Germany), Amadeo® (Tyromotion, Graz, Austria), Hand MentorTM (Columbia Scientific LLC, Columbia, USA), Gloreha (Idrogenet, Brescia, Italy) itn. Prednost tovrstnih naprav je, da lahko omogočajo ponavljajočo se vadbo aktivnih gibov tudi pri težji parezi zgornjega uda, saj lahko pasivno izvajajo gibanje ali pa le delno pomagajo pri izvedbi giba (22).

V literaturi so za zdaj mešani dokazi o učinkovitosti robotske vadbe za izboljšanje funkcije zgornjega uda v primerjavi s klasično terapijo. Duret in sodelavci v preglednem članku opisujejo, da številne raziskave dokazujejo pozitivne učinke na izboljšanje motorične funkcije okvarjenega zgornjega uda, manj jasni pa so učinki na funkcionalne omejitve. Prisotni so jasni dokazi, da je robotska vadba za zgornji ud, ki traja od 30 do 60 minut, varna kljub velikemu številu ponovitev gibanja (23). Pacienti v subakutnem obdobju po možganski kapi s težjo stopnjo okvare, ko gibanje uda brez pomoči terapevta še ni mogoče, verjetno največ pridobijo z robotsko asistirano vadbo za zgornji ud. Hkratni dejavniki, kot so starost, afazija in neglekt, niso imeli negativnega učinka na količino izvedenih ponovitev giba in niso predstavljali kontraindikacije za vadbo (24). V sistematičnem preglednem članku, ki je vseboval metaanalizo 38 raziskav, so dokazali, da je prisoten majhen pozitiven učinek robotske vadbe na motorično funkcijo in mišično moč paretičnega zgornjega uda in negativen

**Tabela 1:** Eksoskeletni in končni efektorski sistemi za zgornji in spodnji ud (18).

**Table 1.** Exoskeletal and terminal effector systems for the upper and lower limbs (18).

	ZGORNJI UD / UPPER LIMB	SPODNJI UD IN HOJA / LOWER LIMB AND GAIT
<b>EKSOSKELETNE NAPRAVE/ EXOSKELETONS</b> 	ARMin, Pneu-WREX, Armeo®Spring, Armeo®Power, Myomo®, Music Glove, Gloreha, RAPAEEL Smart Glove, FINGER Robot, Modified Hand Exoskeleton Robot, Hand Mentor	Lokomat®, Walkbot, LOPES, ALEX, Hybrid Assistive Limb, AutoAmbulator, ReoAmbulatorTM, nosilne eksoskeletne naprave (Stride Management Assist, Anklebot, Ekso Bionics, ReWalk, AlterG Bionic Leg, Fremont)
<b>KONČNI EFEKTORSKI SISTEMI/ TERMINAL EFFECTOR SYSTEMS</b> 	MIT-Manus, GENTLE/S, MIME, Neuro-X, Arm Assist, Bi-Manu-Track, Arm Guide, NeReBot, Armeo®Boom, Burt®, KINARIMTM, REAplan®, Amadeo®	G-EO SystemTM, Gait Trainer I in II, HapticWalker, LokoHelp Pedago

učinek na mišični tonus. Robotske naprave so izboljšale funkcijo zgornjega uda v rami in komolcu, ni pa bilo večjega učinka na zapestje in roko. Prav tako niso ugotovili pomembnega učinka na izboljšanje izvedbe vsakodnevnih aktivnosti z zgornjim udom (21). Tudi ko so z robotskim sistemom Haptic Master izvajali v funkcijo usmerjeno vadbo za zgornji ud, pri visoko funkcionalnih pacientih po možganski kapi niso ugotovili statistično pomembne večje učinkovitosti v primerjavi z vadbo, usmerjeno v funkcijo in brez uporabe robotske naprave (25). Učinek robotske vadbe za zgornji ud v prvih tednih po možganski kapi še ni pojasnjen, po podatkih nekaterih raziskav naj bi bil učinek robotske vadbe v akutnem obdobju večji zaradi intenzivnega spontanega okrevanja (26). Daunoraviciene in sodelavci so v randomizirani kontrolirani raziskavi pri 34 pacientih po možganski kapi (v večini v subakutnem obdobju) po vadbi z robotsko napravo Armeo®Spring (Hocoma, Volketswil, Switzerland) ugotovili pozitivne učinke v funkcijo usmerjene robotske vadbe za zgornji ud na motorično funkcijo zgornjega uda ter na kognitivne sposobnosti pacientov (27). Nasprotno s tem so v nedavni multicentrični randomizirani kontrolirani raziskavi RATULS, ki je vključevala 770 pacientov z zmerno do težko okvaro funkcije zgornjega uda, v vseh obdobjih po možganski kapi (od 1 teden do 5 let), ugotovili, da robotska vadba na napravi MIT-Manus (Interactive Motion Technologies, Cambridge, MA) ni pomembneje izboljšala funkcije zgornjega uda v primerjavi z običajno terapijo. Poudarili so tudi, da mora biti terapevt med vadbo pozoren na položaj ramenskega sklepa, da se prepreči bolečina v rami (28). Obojestranska vadba na robotski napravi za zgornji ud se v literaturi ni izkazala za učinkovitejšo v primerjavi z enostransko vadbo (29). Raziskave opisujejo tudi pozitivne učinke uporabe robotskih naprav za zgornji ud na zniževanje mišičnega tonusa v zgornjem udu po aplikaciji toksina botulina, učinki so bili primerljivi s klasično terapijo (30). V Cochranovem preglednem članku, v katerem je bilo vključenih 45 raziskav (terapija je navadno potekala petkrat na teden, trajala je od 20 do 105 minut, večinoma od dva do šest tednov), so Mehrholz in sodelavci ugotovili, da so bili izidi po robotski vadbi za zgornji ud primerljivi z običajnimi terapevtskimi postopki. Robotsko asistirana vadba za zgornji ud je izboljšala izvajanje vsakodnevnih aktivnosti, funkcijo zgornjega uda in mišično moč, predvsem pri pacientih v akutnem in subakutnem obdobju, v kroničnem obdobju so bili učinki nejasni. Stranski učinki vadbe, kot je bolečina ali poškodbe, so bili redki. Primerjava podskupine pacientov, ki so prejeli predvsem robotsko vadbo za distalni del zgornjega uda (prsti, dlan in radioulnarni sklep), in podskupine, ki je prejela robotsko vadbo predvsem v proksimalnem delu zgornjega uda (rama in komolec), ni pokazala pomembnih razlik med skupinama glede izboljšanja funkcije zgornjega uda ali izvajanja vsakodnevnih aktivnosti po koncu obravnave. Primerjava med različnimi robotskimi napravami prav tako ni pokazala, da bi bila katera od njih bolj oziroma manj učinkovita kot druga (31).

Škotske klinične smernice za rehabilitacijsko obravnavo pacientov po možganski kapi navajajo visoko raven priporočil A, da elektromehanske/robotske naprave lahko izboljšajo motorično funkcijo in mišično moč zgornjega uda pri izbranih pacientih, kjer je že na voljo ustrezna oprema in so zdravstveni strokovnjaki že usposobljeni za uporabo opreme (32). Visoko raven priporočil A

navajajo tudi ameriške smernice, ki priporočajo, da je robotska terapija smiselna pri zmerni do težki parezi zgornjega uda, saj omogoča intenzivnejšo vadbo (33). Po drugi strani avstralske smernice navajajo le šibko raven priporočil glede uporabe robotske vadbe za izboljšanje funkcije zgornjega uda pri blagi do hudi parezi (34). Prav tako je prisotna šibka raven priporočil D pri angleških smernicah, da se ponudi robotsko asistirano vadbo za zgornji ud le kot dodatek k običajni terapevtski obravnavi v kontekstu kliničnih raziskav (35). Najnovejše kanadske smernice priporočil glede vadbe na robotskih napravah za zgornji ud po možganski kapi sploh ne navajajo (36).

## Spodnji ud

Robotske naprave za spodnji ud se navadno uporabljajo za izboljšanje funkcije hoje in ravnotežja po možganski kapi. Večina teh naprav omogoča podporo telesne teže s hkratno vadbo na tekočem traku ali na podnožnih ploščah. Končni efektorski sistemi za spodnja uda delujejo po načelu, da so pacienti prek stopal pritrjeni na podnožni plošči, ki s premikanjem stimulirata fazo opore in zamaha pri hoji, dodatno imajo vgrajeno podporo telesne teže. V literaturi najpogosteje opisana robotska naprava, izdelana kot končni efektorski sistem, je Gait Trainer (Community Products, LLC dba Rifton Equipment, Rifton, NY). Eksoskeletne naprave s pomočjo ortoz premikajo kolka in kolena med cikli hoje, najpogosteje proučevana tovrstna naprava je Lokomat® (Hocoma, Volketswil, Switzerland) (Tabela 1). Tako lahko zmanjšajo napor terapevta med vadbo, ki mu ni treba dodatno usmerjati gibanje paretičnega spodnjega uda ali trupa med hojo, in omogočijo tudi še nehodečim pacientom intenzivno in visoko ponavljajočo se vadbo kompleksnega cikla hoje (18, 20). Glede na funkcijsko stanje pacienta v času okrevanja se uporabljajo različne vrste robotskih naprav. V literaturi opisujejo štiri osnovne vrste robotskih naprav za vadbo hoje:

- a) **naprave, ki omogočajo vadbo hoje na tekočem traku:** ALEX (Columbia Engineering's Robotics and Rehabilitation Laboratory, New York, USA), LokoHelp (LokoHelp Group, Weil am Rhein, Germany), Lokomat® (Hocoma, Volketswil, Switzerland), LOPES (University of Twente, Enschede, The Netherlands), ReoAmbulator™ (Motorika Medical Ltd., Mount Laurel, NY, USA), WALKBOT (P&S Mechanics, Seoul, Korea);
- b) **naprave, pri katerih je stopalo pritrjeno na podnožni plošči:** Gait Master 5 (Mulholland Positioning Systems Inc., Burley, USA), Gait trainer (Community Products, LLC dba Rifton Equipment, Rifton, NY), Gait trainer GT1 (Reha-Stim, Berlin, Germany), G-EO system™ (Reha Technology, Blue Bell, PA, USA), Hapticwalker (Fraunhofer IPK, Berlin, Germany);
- c) **naprave, ki omogočajo vadbo hoje in ravnotežja po tleh:** THERA-Trainer e-go (Medica Medizintechnik GmbH, Hochdorf, Germany), HAL® (CYBERDYNE Inc., Ibaraki, Japan), KineAssist® (HDT Global Inc., Solon, OH, USA), ReWalk (Argo Medical Technologies Ltd., Yokneam Illit, Israel), Ekso GT™ (Ekso Bionics, California, USA), Walk

trainer™ (Swortec SA, Monthey, Switzerland), Andago® (Hocoma, Volketswil, Switzerland);

- d) **stacionarne naprave za vadbo hoje:** Motion Maker™ (Swortec SA, Monthey, Switzerland), Lambda (Lambda health system, Yverdon-les-Bains, Switzerland), Erigo® (Hocoma, Volketswil, Switzerland) (Clinical Use of Robots as a Part of Rehabilitation Medicine Chun). Novejše naprave omogočajo prilagodljivost številnih parametrov vadbe hoje (npr. hitrost hoje, kadenco, dolžino koraka) (37).

Za zdaj je prisotna zrna raven dokazov glede izboljšanja funkcije hoje in motoričnega okrevanja spodnjega uda pri uporabi robotskih naprav v primerjavi z običajno terapevtsko obravnavo. Nekateri dosedanje klinične raziskave so ugotovile prednosti robotske vadbe hoje v primerjavi z običajno terapevtsko obravnavo, druge ravno obratno. Dokazali so, da je največji učinek robotske vadbe hoje v zgodnjem obdobju po nastopu možganske kapi (38). V tem obdobju pacienti s težjo stopnjo pareze potrebujejo visoko stopnjo pomoči terapevta (pri običajni vadbi hoje so pri takem pacientu potrebni dva ali trije terapevti) (39). Na začetku obravnave so pri pacientih s težjo stopnjo okvare predvsem uporabne nagibne mize, ki vključujejo mehanizem korakanja (npr. Erigo, Hocoma, Volketswil, Switzerland) in povzročijo podobno aktivacijo možganov kot pri aktivnosti hoje po tleh (40). Vadba na tovrstnih napravah je imela pozitiven učinek tudi na izboljšanje motenj zavesti in kognitivnih funkcij (41). V primerjavi z običajno terapevtsko obravnavo sodobne robotske naprave za vadbo hoje omogočajo od dva- do desetkratno povečanje števila korakov ali prehojene razdalje v času ene terapevtske obravnave (39). Cochranov pregledni članek, ki je vključeval 62 raziskav, je ugotovil, da je robotska vadba hoje v kombinaciji z običajno vadbo učinkovitejša kot le običajna fizioterapevtska obravnavo. Največ koristi od robotske vadbe hoje imajo pacienti v prvih treh mesecih po možganski kapi, ki še ne zmorejo hoditi. Robotska vadba hoje v kombinaciji s fizioterapevtsko obravnavo poveča obete, da pacienti postanejo neodvisni pri hoji, nima pa pomembnega učinka na hitrost hoje in vzdržljivost. V zaključku so poudarili, da je treba zdraviti osem pacientov, da se prepreči odvisnost pri hoji za enega pacienta. Največji učinek robotske vadbe hoje se je pokazal pri pacientih s težjo motorično okvaro in nizko zmožnostjo hoje (hitrost hoje < 0,3 m/s), ki potrebujejo veliko pomoči terapevta. Pozitivni učinki robotske vadbe na funkcijo hoje (Razvrstitev funkcijske premičnosti, Rivermeadski indeks premičnosti) so bili pri pacientih s težjo stopnjo okvare prisotni tudi po dveh letih od konca vadbe (42). V sistematičnem preglednem članku so Mehrholz in sodelavci (42) primerjali učinke končnih efektorskih in eksoskeletnih naprav za vadbo hoje po možganski kapi. Ugotovili so, da so pacienti po uporabi končnih efektorskih robotskih naprav pogosteje postali samostojni pri hoji v primerjavi z uporabo eksoskeletnih naprav (43). V literaturi navajajo, da imata najverjetneje obe vrsti naprav prednosti in pomanjkljivosti, zato bi bilo smiselno definirati značilnosti obeh vrst naprav, ki bi bile najbolj koristne za posameznega pacienta (44). Zheng in sodelavci so ugotovili tudi pozitivne učinke robotske vadbe na izboljšanje ravnotežja po možganski kapi (45). Hoja s pomočjo robotskih naprav naj se ne bi izvajala, kadar je cilj izboljšati hitrost hoje ali prehojeno razdaljo pri pacientih v kronični fazi po možganski kapi, ki že hodijo samostojno (46).

G-EO System (Reha Technology, Blue Bell, PA, USA) omogoča poleg vadbe celotnega cikla hoje tudi izvajanje le posameznih faz cikla hoje (npr. faza opore, zamaha, odriva). Tovrsten pristop je bolj podoben tradicionalni terapevtski obravnavi. Za zdaj še ni bilo narejenih raziskav o učinkovitosti tovrstne vadbe hoje (47). Kot pomanjkljivost vadbe v eksoskeletnih robotskih napravah navajajo premajhno variabilnost vadbe hoje. Za posameznike, ki že zmorejo narediti preproste korake, so razvili naprave, ki omogočajo bolj raznoliko gibanje pri hoji, ki se prilagaja zahtevam okolja (npr. C-Mill, Motek, The Netherlands) (48). V poznejšem obdobju okrevanja po možganski kapi pridejo v okviru vadbe hoje po tleh v poštev tudi bolj sofisticirane nadzorne strategije, navidezno okolje in možnosti za vadbo specifičnih parametrov hoje in nalog, ki jih bo oseba potrebovala tudi pri hoji v domačem in družbenem okolju (npr. vstajanje/vsedanje). Nosilne eksoskeletne naprave (Tabela 1) kompenzirajo oslabeledost in slabšo koordinacijo spodnjega uda ter omogočajo vadbo hoje po tleh. V zadnjem času se razvijajo tudi eksoskeletne naprave v obliki aktivnih ortoz za uporabo na posameznem sklepu, kot je na primer gleženj. Druge vrste naprav za vadbo hoje in ravnotežja po tleh omogočajo tudi aktivno podporo telesne teže, s čimer izboljšajo posturalno stabilnost. Primeri takih naprav so KineAssist® (HDT Global Inc., Solon, OH, USA), Andago® (Hocoma, Volketswil, Switzerland), THERA-Trainer e-go (Medica Medizintechnik GmbH, Hochdorf, Germany). Louie in sodelavci so ugotovili, da ima v kroničnem obdobju po možganski kapi vadba hoje z nosilnimi eksoskeletnimi robotskimi napravami primerljive učinke kot običajna vadba, pri pacientih v subakutnem obdobju pa še dodatne pozitivne učinke (49). Tudi pri teh napravah so pacienti večinoma omejeni na hojo po ravni gladki podlagi. Pri že samostojno hodečih pacientih pa je bila po podatkih raziskav običajna vadba v primerjavi z vadbo na napravi Lokomat učinkovitejša v smislu izboljšanja hitrosti hoje (50).

V ameriških smernicah za rehabilitacijsko obravnavo pacientov po možganski kapi je prisotna visoka raven priporočil A, da je mehansko asistirano vadbo hoje s podporo telesne teže smiselno uporabiti pri nehodečih pacientih ali tistih s slabšo zmožnostjo za hojo v zgodnjem obdobju po možganski kapi (33). Kanadske smernice navajajo visoko raven priporočil A, da se vadba na tekočem traku s podporo telesne teže ali brez nje uporabi za izboljšanje hitrosti hoje in prehojene razdalje, kot dodatek pri hoji po tleh ali ko hoja po tleh ni mogoča. Uporabo robotskih naprav za vadbo hoje priporočajo za bolnike, ki sicer drugače ne bi mogli vaditi hoje, vendar ne namesto običajne vadbe hoje (36). Podobno navajajo tudi avstralske smernice visoko raven priporočil, da je po možganski kapi treba zagotoviti možnost za ponavljajočo se vadbo hoje (ali komponent hoje) po meri pacienta tudi v obliki vadbe na tekočem traku s podporo telesne teže ali brez nje, vendar šibko raven priporočil, da se za preživele po možganski kapi, ki imajo težave pri hoji, lahko dodatno uporabi tudi elektromehanska asistirana vadba hoje (34). Škotske klinične smernice navajajo zmerno raven priporočil B, da se elektromehanska asistirana vadba hoje lahko ponudi izbranim pacientom, kjer je že na voljo ustrezna oprema in so zdravstveni strokovnjaki usposobljeni za uporabo opreme (32).



## Uporaba robotskih naprav v domačem okolju

Po možganski kapi so težave na področju okvare funkcije zgornjega uda ter funkcije hoje in ravnotežja prisotne tudi v kroničnem obdobju, ko so pacienti večinoma že v domačem okolju in zaradi omejenih možnosti niso več vključeni v rehabilitacijsko obravnavo (51). Robotske naprave bi lahko omogočile vadbo pacienta v domačem okolju brez fizične prisotnosti terapevta. Telerehabilitacijska robotika je razmeroma nova disciplina, ki povezuje značilnosti robotsko asistiranje rehabilitacije in teledzdravja, da bi omogočili učinkovite storitve na daljavo z uporabo informacijskih in komunikacijskih tehnologij. Prvo je razvoj tovrstnih naprav začelo Ministrstvo za veterane v ZDA, da bi omogočili rehabilitacijske storitve na daljavo in tako zmanjšali geografske ovire, ki so nastale pri vračanju vojnih veteranov v ruralno domače okolje (52). Vključevanje robotskih naprav v domače okolje je za zdaj še zelo počasno (53). Večina naprav za telerehabilitacijsko robotsko obravnavo je še v razvoju in so zelo heterogene glede konstrukcije, protokolov nadzora naprave v realnem času in povezave z uporabnikom. Vsem napravam je skupno, da omogočajo spremljanje gibanja (npr. položaj, hitrost, navori itn.) in dajejo podporo, ki jo posameznik potrebuje pri izvedbi giba. Številne naprave, ki jih razvijajo, se osredotočajo bodisi na oddaljeno spremljanje pacienta ali pa na prilagoditve, ki so potrebne za domačo uporabo, ne pa na oboje hkrati (54). Uporabo telerehabilitacijske robotske naprave je smiselno predstaviti tako pacientu kot svojcem v času, ko je pacient še vključen v ambulantno ali hospitalno rehabilitacijsko obravnavo (55). Odsotnost terapevta v domačem okolju lahko vodi do pomanjkanja strukturiranih načinov vadbe in zato zmanjša pacientovo sodelovanje pri rehabilitacijski obravnavi. Pri načrtovanju vadbenih programov robotske vadbe v domačem okolju je treba upoštevati tudi socialne dejavnike pacientovega domačega okolja, praktične izzive vsakodnevnega življenja in njihovo spretnost pri uporabi različnih tehnologij (56).

Nekatere raziskave so pokazale, da je robotsko asistirana terapija za zgornji ud lahko učinkovita in zanesljiva tudi v domačem okolju, brez potrebe po fizični prisotnosti terapevta (57, 58). Do zdaj sta bili za uporabo v domačem okolju v celoti razviti le dve napravi (Hand and Foot mentor (Motus Nova LLC, Atlanta, Georgia) in SCRIPT (Faculty of Engineering Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands) (59, 60). Naprava Hand and Foot mentor (Motus Nova LLC, Atlanta, Georgia) se uporablja pri pacientih z delno ohranjeno funkcijo zgornjega in spodnjega uda za izboljšanje obsega aktivnega giba in mišične moči v distalnih mišičnih skupinah. Pacienti izvajajo gibe ekstenzije v zapestju ali dorzalne fleksije v gležnju, pri čemer izvajajo igram podobne vadbene programe. Računalniški algoritem stalno spremlja izvedbo nalog in prilagaja stopnjo zahtevnosti vadbe ter omogoča vidno in slušno povratno informacijo glede izvedbe nalog. Terapevt lahko napravo upravlja na daljavo. Vadbo na napravi so pacienti izvajali po navodilih eno uro na dan, 12 tednov, enkrat na teden je bil prisoten klic terapevta za oceno sodelovanja in napredka. Po koncu terapevtskega programa je prišlo do pomembnega izboljšanja na Funkcijskem testu zgornjega uda (ARAT). Pacienti so bili z vadbo zelo zadovoljni, imeli so občutek nadzora nad terapijo, zmanjšali sta se tesnoba in depresija ter izboljšala kako-

vost življenja (59, 61). Naprava SCRIPT (Faculty of Engineering Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands), ki je bila razvita v okviru raziskovalnega projekta, omogoča pasivno ali aktivno ortozo, ki pomaga pri ekstenziji zapestja in prstov. Poleg tega naprava omogoča tudi interaktivno okolje za vadbo v obliki iger. Po šestih tednih vadbe so poročali o pomembnih spremembah na Fugl-Meyerjevi lestvici in ARAT. Čeprav so spodbujali posameznike k uporabi naprave eno uro vsak dan, so jo v povprečju uporabljali le 15 minut (62, 63).

Pri statičnih robotskih napravah za vadbo hoje je za uporabo v domačem okolju v večini težava, ker so naprave velike in omejene za uporabo v bolnišničnem okolju, hkrati imajo tudi visoko ceno, so zahtevne za uporabo in povzročajo breme za svojce ter pogosto potrebujejo tehnično podporo (64). Pri mobilnih sistemih za vadbo hoje (npr. nosilne eksoskeletne naprave) je še vedno prisotna težava zaradi prekratkega trajanja baterij (65). V nedavni raziskavi so med desettedenskim vadbenima programom v domačem okolju primerjali skupino 34 hodečih pacientov v kroničnem obdobju po možganski kapi, pri čemer je testna skupina izvajala poleg običajne vadbe še robotsko vadbo hoje z nameščeno ortozo AlterG Bionic LegTM (AlterG, California, USA) (30 min na dan), kontrolna skupina pa le običajno fizioterapevtsko obravnavo v enakem časovnem obdobju. Skupina, ki je izvajala robotsko asistirano vadbo, je dosegla pomembno izboljšanje v prehojeni razdalji in ravnotežju, izvedla je večje število korakov in več prehodov iz sedečega v stoječi položaj. Izboljšanje je vztrajalo 22 tednov po koncu vadbe (66).

## ZAKLJUČEK

Vadba na robotskih napravah in v okolju navidezne resničnosti je učinkovita dopolnitev običajne rehabilitacijske obravnave, saj lahko pacientu predstavlja izziv in ga dodatno motivira za sodelovanje. Vse robotske naprave imajo določene prednosti in pomanjkljivosti. Terapevt mora poznati lastnosti posamezne naprave in jo vključiti v terapevtsko obravnavo tako, da optimizira koristi vadbe na napravi pri nekem pacientu v različnih obdobjih okrevanja. Vadba na robotskih napravah za zgornji in spodnji ud je v večini primerov primerljiva z običajno rehabilitacijsko obravnavo. Največ koristi od robotske vadbe hoje imajo predvsem nehodeči pacienti v zgodnjem obdobju po možganski kapi. Še vedno je prisotnih precej nejasnosti glede optimalnih vadbenih protokolov (npr. pogostost in trajanje obravnav), izbire ustreznih pacientov, učinkovitosti vadbe na določeni napravi ter ustreznih ocenjevalnih orodij. Treba bo tudi najti tudi načine za dovajanje senzornih dražljajev med robotsko vadbo ter za vadbo realnih aktivnosti vsakodnevnega življenja. Sodobne rehabilitacijske tehnologije v prihodnje najverjetneje ne bodo nadomestile običajnih rehabilitacijskih postopkov s strani terapevtov, bodo pa vedno pogosteje del kompleksne rehabilitacijske obravnave.

## Literatura:

1. Krakauer JW, Carmichael ST, Corbett D, Wittenberg GF. Getting neurorehabilitation right: what can be learned from animal models? *Neurorehabil Neural Repair*. 2012;26(8):923–31.
2. Pollock A, Farmer SE, Brady MC, Langhorne P, Mead GE, Mehrholz J, et al. Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;2014(11):CD010820.
3. Clark WE, Sivan M, O'Connor RJ. Evaluating the use of robotic and virtual reality rehabilitation technologies to improve function in stroke survivors: a narrative review. *J Rehabil Assist Technol Eng*. 2019;6:2055668319863557.
4. Maier M, Ballester BR, Verschure PFMJ. Principles of neurorehabilitation after stroke based on motor learning and brain plasticity mechanisms. *Front Syst Neurosci*. 2019;13:74.
5. Chang WH, Kim YH. Robot-assisted therapy in stroke rehabilitation. *J Stroke*. 2013;15(3):174–81.
6. Hesse S, Werner C, Pohl M, Rueckriem S, Mehrholz J, Lingnau ML. Computerized arm training improves the motor control of the severely affected arm after stroke: a single-blinded randomized trial in two centers. *Stroke*. 2005;36(9):1960–6.
7. Wagner TH, Lo AC, Peduzzi P, Bravata DM, Huang GD, Krebs HI, et al. An economic analysis of robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *Stroke*. 2011;42(9):2630–2.
8. Carpinella I, Lencioni T, Bowman T, Bertoni R, Turolla A, Ferrarin M, et al. Effects of robot therapy on upper body kinematics and arm function in persons post stroke: a pilot randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2020;17(1):10.
9. Dietz V, Nef T, Zev Rymer W, eds. *Neurorehabilitation technology*. London: Springer; 2012.
10. Fazekas G, Tavaszi I. The future role of robots in neuro-rehabilitation. *Expert Rev Neurother*. 2019;19(6):471–3.
11. Peter O, Tavaszi I, Toth A, Fazekas G. Exercising daily living activities in robot-mediated therapy. *J Phys Ther Sci*. 2017;29(5):854–8.
12. Weber LM, Stein J. The use of robots in stroke rehabilitation: a narrative review. *NeuroRehabilitation*. 2018;43(1):99–110.
13. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;11(11):CD008349.
14. Grefkes C, Fink GR. Recovery from stroke: current concepts and future perspectives. *Neurol Res Pract*. 2020;2:17.
15. Okabe N, Himi N, Nakamura-Maruyama E, Hayashi N, Sakamoto I, Hasegawa T, et al. Very early initiation reduces benefits of poststroke rehabilitation despite increased corticospinal projections. *Neurorehabil Neural Repair*. 2019;33(7):538–52.
16. Péter O, Fazekas G, Zsiga K, Dénes Z. Robot-mediated upper limb physiotherapy: review and recommendations for future clinical trials. *Int J Rehabil Res*. 2011;34(3):196–202.
17. Krebs HI, Hogan N. Robotic therapy: the tipping point. *Am J Phys Med Rehabil*. 2012;91(3):S290–7.
18. Bertomeu-Motos A, Blanco A, Badesa FJ, Barios JA, Zollo L, Garcia-Aracil N. Human arm joints reconstruction algorithm in rehabilitation therapies assisted by end-effector robotic devices. *J Neuroeng Rehabil*. 2018;15(1):10.
19. Lee SH, Park G, Cho DY, Kim HY, Lee JY, Kim S, et al. Comparisons between end-effector and exoskeleton rehabilitation robots regarding upper extremity function among chronic stroke patients with moderate-to-severe upper limb impairment. *Sci Rep*. 2020;10(1):1806.
20. Gandolfi M, Valè N, Posteraro F, Morone G, Dell'orco A, Botticelli A, et al. State of the art and challenges for the classification of studies on electromechanical and robotic devices in neurorehabilitation: a scoping review. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2021;57(5):831–40.
21. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, van Wegen EE, Meskers CG, Kwakkel G. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017;31(2):107–21.
22. Hee Do K, Chun Min Ho. Clinical use of robots as a part of rehabilitation medicine. *Brain Neurorehabil*. 2017;10(1):e7.
23. Duret C, Grosmaire AG, Krebs HI. Robot-assisted therapy in upper extremity hemiparesis: overview of an evidence-based approach. *Front Neurol*. 2019;10:412.
24. Duret C, Hutin E, Lehenaff L, Gracies JM. Do all sub acute stroke patients benefit from robot-assisted therapy? A retrospective study. *Restor Neurol Neurosci*. 2015;33(1):57–65.
25. Timmermans AA, Lemmens RJ, Monfrance M, Geers RP, Bakx W, Smeets RJ, et al. Effects of task-oriented robot training on arm function, activity, and quality of life in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:45.
26. Lum P, Reinkensmeyer D, Mahoney R, Rymer WZ, Burgar C. Robotic devices for movement therapy after stroke: current status and challenges to clinical acceptance. *Top Stroke Rehabil*. 2002;8(4):40–53.
27. Daunoraviciene K, Adomaviciene A, Grigonyte A, Griškevičius J, Juocevicius A. Effects of robot-assisted training on upper limb functional recovery during the rehabilitation of poststroke patients. *Technol Health Care*. 2018;26(S2):533–42.
28. Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, van Wijck F, Howel D, Wilson N, et al. Robot-assisted training compared with an enhanced upper limb therapy programme and with usual care for upper limb functional limitation after stroke: the RATULS three-group RCT. *Health Technol Assess*. 2020;24(54):1–232.
29. Wu CY, Yang CL, Chen MD, Lin KC, Wu LL. Unilateral versus bilateral robot-assisted rehabilitation on arm-trunk control and functions post stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2013;10:35.
30. Paolucci T, Agostini F, Mangone M, Bernetti A, Pezzi L, Liotti V, et al. Robotic rehabilitation for end-effector device and botulinum toxin in upper limb rehabilitation in chronic post-stroke patients: an integrated rehabilitative approach. *Neurol Sci*. 2021;42(12):5219–29.
31. Mehrholz J, Pohl M, Platz T, Kugler J, Elsner B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;9(9):CD006876.
32. Management of patients with stroke: rehabilitation, prevention and management of complications, and discharge planning. Edinburgh: Scottish Intercollegiate Guideline Network; 2010. Dostopno na: <https://www.sign.ac.uk/media/1056/sign118.pdf> (citirano 10. 2. 2022).
33. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, et al. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2016;47(6):e98–e169.
34. Clinical guidelines for stroke management. Stroke Foundation; 2017. Dostopno na: <https://informme.org.au/en/Guidelines/Clinical-Guidelines-for-Stroke-Management> (citirano 10. 2. 2022).
35. National clinical guideline for stroke. 5th ed. Royal College of Physicians; 2016. Dostopno na: [https://pearl.plymouth.ac.uk/bitstream/handle/10026.1/10488/2016-National-Clinical-Guideline-for-Stroke-5th-edition\\_24-11-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pearl.plymouth.ac.uk/bitstream/handle/10026.1/10488/2016-National-Clinical-Guideline-for-Stroke-5th-edition_24-11-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (citirano 10. 2. 2022).

36. Teasell R, Salbach NM, Foley N, Mountain A, Cameron JJ, Jong A, et al. Canadian stroke best practice recommendations: rehabilitation, recovery, and community participation following stroke. Part one: rehabilitation and recovery following stroke; 6th edition update 2019. *Int J Stroke*. 2020;15(7):763–88.
37. Díaz I, Gil JJ, Sánchez E. Lower-limb robotic rehabilitation: literature review and challenges. *J Robot*. 2011;759764:1–11.
38. Mehrholz J, Thomas S, Werner C, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;5(5):CD006185.
39. Esquenazi A, Talaty M. Robotics for lower limb rehabilitation. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2019;30(2):385–97.
40. Wieser M, Haefeli J, Büttler L, Jäncke L, Riener R, Koeneke S. Temporal and spatial patterns of cortical activation during assisted lower limb movement. *Exp Brain Res*. 2010;203(1):181–91.
41. Frazzitta G, Zivi I, Valsecchi R, Bonini S, Maffia S, Molatore K, et al. Effectiveness of a very early stepping verticalization protocol in severe acquired brain injured patients: a randomized pilot study in ICU. *PLoS One*. 2016;11(7):e0158030.
42. Mehrholz J, Thomas S, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;10(10):CD006185.
43. Mehrholz J, Thomas S, Werner C, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke: a major update of the evidence. *Stroke*. 2017;16:STROKEAHA.117.018018.
44. Mehrholz J, Pohl M. Electromechanical-assisted gait training after stroke: a systematic review comparing end-effector and exoskeleton devices. *J Rehabil Med*. 2012;44(3):193–9.
45. Zheng QX, Ge L, Wang CC, Ma QS, Liao YT, Huang PP, et al. Robot-assisted therapy for balance function rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2019;95:7–18.
46. Hornby TG, Reisman DS, Ward IG, Scheets PL, Miller A, Haddad D, et al. Clinical practice guideline to improve locomotor function following chronic stroke, incomplete spinal cord injury, and brain injury. *J Neurol Phys Ther*. 2020;44(1):49–100.
47. Esquenazi A, Lee S, Wikoff A, Packel A, Toczyłowski T, Feeley J. A Comparison of locomotor therapy interventions: partial-body weight-supported treadmill, lokomat, and G-EO training in people with traumatic brain injury. *PM R*. 2017;9(9):839–46.
48. Heeren A, van Ooijen M, Geurts AC, Day BL, Janssen TW, Beek PJ, et al. Step by step: a proof of concept study of C-Mill gait adaptability training in the chronic phase after stroke. *J Rehabil Med*. 2013;45(7):616–22.
49. Louie DR, Eng JJ. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review. *J Neuroeng Rehabil*. 2016;13(1):53.
50. Zhang X, Yue Z, Wang J. Robotics in lower-limb rehabilitation after stroke. *Behav Neurol*. 2017;2017:3731802.
51. Eng JJ, Tang PF. Gait training strategies to optimize walking ability in people with stroke: a synthesis of the evidence. *Expert Rev Neurother*. 2007;7(10):1417–36.
52. Piron L, Turolla A, Agostini M, Zucconi C, Cortese F, Zampolini M, et al. Exercises for paretic upper limb after stroke: a combined virtual-reality and telemedicine approach. *J Rehabil Med*. 2009;41(12):1016–102.
53. Housley SN, Fitzgerald K, Butler AJ. Telerehabilitation robotics: overview of approaches and clinical outcomes. *Rehabil Robotics*. 2018;24:333–46.
54. Song A, Wu C, Ni D, Li H, Qin H. One-therapist to three-patient telerehabilitation robot system for the upper limb after stroke. *Int J Soc Robot*. 2016;8(2):319–29.
55. Sivan M, Gallagher J, Makower S, Keeling D, Bhakta B, O'Connor RJ, et al. Home-based Computer Assisted Arm Rehabilitation (hCAAR) robotic device for upper limb exercise after stroke: results of a feasibility study in home setting. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:163.
56. Chen Y, Abel KT, Janecek JT, Chen Y, Zheng K, Cramer SC. Home-based technologies for stroke rehabilitation: a systematic review. *Int J Med Inform*. 2019;123:11–22.
57. Lo AC, Guarino PD, Richards LG, Haselkorn JK, Wittenberg GF, Federman DG, et al. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *N Engl J Med*. 2010;362(19):1772–83.
58. Wolf SL, Sahu K, Bay RC, Buchanan S, Reiss A, Linder S, et al. The HAAPI (Home Arm Assistance Progression Initiative) trial: a novel robotics delivery approach in stroke rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair*. 2015;29(10):958–68.
59. Butler A, Bay C, Wu D, Richards K, Buchanan S. Expanding tele-rehabilitation of stroke through in-home robot-assisted therapy. *Int J Phys Med Rehabil*. 2014;2(184):2.
60. Ates S, Haarman CJW, Stienen AHA. SCRIPT passive orthosis: design of interactive hand and wrist exoskeleton for rehabilitation at home after stroke. *Auton Robot*. 2017;41:711–23.
61. Housley S, Garlow A, Ducote K, Howard A, Thomas T, Wu D, et al. Increasing access to cost effective home-based rehabilitation for rural veteran stroke survivors. *Austin J Cerebrovasc Dis Stroke*. 2016;3(2):1–11.
62. Ates S, Lobo-Prat J, Lammertse P, van der Kooij H, Stienen AH. SCRIPT passive orthosis: design and technical evaluation of the wrist and hand orthosis for rehabilitation training at home. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*. 2013:6650401.
63. Prange GB, Nijenhuis SM, Sale P, Cesario A, Nasr N, Mountain G, et al. Preliminary findings of feasibility and compliance of technology-supported distal arm training at home after stroke. In: Jensen W, Andersen OK, Akay M, eds. *Replace, repair, restore, relieve—bridging clinical and engineering solutions in neurorehabilitation*. Cham: Springer; 2014:665–73.
64. Housley SN, Fitzgerald K, Butler AJ. Telerehabilitation robotics: overview of approaches and clinical outcomes. *Rehabil Robotics*. 2018;24:333–46.
65. Hillier S, Inglis-Jassiem G. Rehabilitation for community-dwelling people with stroke: home or centre based? A systematic review. *Int J Stroke*. 2010;5(3):178–86.
66. Wright A, Stone K, Martinelli L, Fryer S, Smith G, Lambrick D, et al. Effect of combined home-based, overground robotic-assisted gait training and usual physiotherapy on clinical functional outcomes in people with chronic stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2021;35(6):882–93.



# UČINKOVITOST VADBE Z NAVIDEZNO RESNIČNOSTJO PRI PACIENTIH PO MOŽGANSKI KAPI: PREGLED SISTEMATIČNIH PREGLEDOV LITERATURE

## EFFECTIVENESS OF VIRTUAL REALITY TRAINING IN PATIENTS AFTER STROKE: A REVIEW OF SYSTEMATIC REVIEWS

izr. prof. dr. Urška Puh, dipl. fiziot.

Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

### Povzetek

#### Izhodišča:

Za terapevtsko uporabo so v uporabi aktivne video igre zabavne elektronike in sistemi, razviti za rehabilitacijo, ki se med seboj razlikujejo po možnostih prilagajanja sposobnostim pacienta.

#### Metode:

Pregledali smo sistematične pregledne članke, specifične za vadbo za ravnotežje, vadbo za zgornji ud ali vadbo hoje z navidezno resničnostjo pri pacientih po možganski kapi.

#### Rezultati:

V pregled je bilo vključenih 11 člankov. Potrjena je večja učinkovitost vadbe za ravnotežje in vadbe hoje z navidezno resničnostjo po možganski kapi za izboljšanje ravnotežja sede in stoje od ukrepov v primerjalnih skupinah, v kronični fazi pa tudi za izboljšanje premičnosti in/ali hitrosti hoje. Vadba z navidezno resničnostjo je učinkovitejša za izboljšanje motoričnih funkcij zgornjega uda kot standardna obravnava. Pri vadbi za zgornji ud je potrjena superiornost sistemov navidezne resničnosti, razvitih za rehabilitacijo, v primerjavi s standardno obravnavo, vendar le, če se pri vadbi upošteva vsaj osem načel nevrorehabilitacije.

#### Zaključek:

Navidezna resničnost je lahko učinkovito orodje za izboljšanje gibalnih sposobnosti po možganski kapi, če izberemo pacientovim sposobnostim primerno in specifično za njegove

### Abstract

#### Background:

Active video games, designed for entertainment or rehabilitation, which differ in the possibility of adaptation to the patient's abilities, are used to improve movement in patients after stroke.

#### Methods:

Systematic reviews specifically addressing balance training, upper limb training, or gait training with virtual reality (VR) in patients after stroke were reviewed.

#### Results:

Eleven articles were included in the review. VR during balance or gait training in patients after stroke is more effective in improving balance in sitting and standing than control interventions and also in improving mobility and/or walking speed in the chronic phase. The VR training is more effective than conventional treatment in improving upper limb motor functions. VR systems designed for upper limb rehabilitation are superior to conventional treatment, but only if at least eight principles of neurorehabilitation training are followed.

#### Conclusion:

VR can be an effective tool for improving movement abilities after stroke if it is selected according to the patient's abilities and specific to their treatment goals, the difficulty of the task is adjusted as needed, and later the training difficulty is appropriately increased.

terapevtske cilje, zahtevnost, če je treba, prilagodimo, nato pa vadbo primerno stopnjujemo.

### **Ključne besede:**

navidezna resničnost; resne igre; motivacija; fizioterapija; delovna terapija

### **Key words:**

*virtual reality; serious games; motivation; physiotherapy; occupational therapy*

## **UVOD**

Navidezna resničnost, ustvarjena z računalniško tehnologijo, omogoča pacientu, da se premika oziroma je dejaven v navideznem okolju, ki ga zaznava podobno resničnemu. Stopnje potopitve v navidezno okolje (simulacija realnih predmetov in dogodkov) so različne. Najpogosteje se uporablja neimerzijska metoda, pri kateri je navidezno okolje prikazano na zaslonu ali projekciji na steno pred pacientom. Za polimerzijsko metodo se uporablja veliko ukrivljeno projekcijsko platno ali več ekranov, za imerzijsko metodo pa projekcijska očala, ki ustvarijo 3D iluzijo, da je vadeči v resnici v navideznem okolju. Višja ko je stopnja potopitve, manj stika ima vadeči z zunanjim fizičnim svetom, kar izboljša njegovo pozornost.

Za terapevtsko uporabo se za izboljšanje gibanja uporabljajo aktivne video igre, ki so postale eno od orodij v rehabilitacijski in bolnišnični obravnavi (1). Tako se uporabljajo: a) v prosti prodaji dostopni sistemi (konzole in igre) zabavne elektronike, ki so bili primarno razviti za rekreacijo, ali b) sistemi, razviti za rehabilitacijo (fizioterapijo, delovno terapijo), katerih igre so imenovane tudi resne igre. Za rehabilitacijo je bilo razvitih tudi več iger, ki izkoriščajo senzorno tehnologijo zabavne elektronike, na primer Rewire (2, 3) ali VSTEP (4).

Ankete kažejo, da se vadba z navidezno resničnostjo v klinični praksi (25,8 % možganska kap, 15,3 % nezgodna poškodba možganov, 14,9 % mišično-skeletni sistem, 10,5 % cerebralna paraliza) večinoma uporablja za izboljšanje ravnotežja in telesne pripravljenosti (1), v uporabi je tudi za aerobno vadbo po možganski kapi (5). V fizioterapiji po možganski kapi se poleg uporabe sistemov zabavne elektronike (6, 7), za izboljšanje vzdržljivosti srčno-žilnega sistema uveljavlja vadba stopanja v različne smeri in visokega korakanja na mestu (4) ter kolesarjenje (8) z navidezno resničnostjo. Glede na sistematične preglede, povzete v nadaljevanju, je uporaba navidezne resničnosti razširjena še za vadbo hoje in funkcijskih sposobnosti zgornjega uda. Vadba z navidezno resničnostjo večinoma vključuje gibanje celega telesa (veliki obsegi gibljivosti in/ali spodbuja ravnotežje in koordinacijo gibanja), nekatere naloge/sistemi pa spodbujajo povečanje aktivne gibljivosti posameznih sklepov spodnjih (9) ali zgornjih udov (npr. Kinestica BiMeo, Tyromotion). Pri pacientih po možganski kapi se večinoma uporablja neimerzijska metoda, manj polimerzijska, imerzijska pa redko (10, 11).

Pri vadbi za ravnotežje z navidezno resničnostjo pacient izvaja gibalne naloge oziroma igre v navideznem okolju. Gibanje telesa lahko zaznavajo senzori v pritiskovni plošči (npr. ravnotežna plošča Nintendo Wii, Tyromotion Tymo, Kinestica Equio), upravljavca v roki (npr. Nintendo Wii), kamera (npr. Microsoft Kinect 360, Kinect One) ali senzori opornega stojala (npr. Balance Trainer).

Za izboljšanje funkcijskih sposobnosti zgornjega uda se uporabljajo naloge oziroma igre pobiranja in prenašanja predmetov, pa tudi kompleksnejše, na primer športne igre (npr. tenis, golf). Nekatere spodbujajo gibanje celega zgornjega ud, druge pa funkcijo roke in/ali prstov (12). Senzorji gibanja so lahko v upravljavcu v roki, kameri, na pacientovem telesu (npr. Kinestica Bimeo, Hocoma Armeo Senso), če se navidezna resničnost uporablja za vadbo z robotsko ali elektromehansko napravo, pa na eksoskeletu (npr. Hocoma Armeo Power ali Armeo Spring). Poleg neimerzijske se uporablja tudi imerzijska metoda s projekcijskimi očali in upravljavci za roki (npr. HTC Vive). Pomembna pomanjkljivosti vadbe z navidezno resničnostjo, ki je še posebej izrazita pri vadbi za zgornji ud, pri kateri se pogosto prijemajo navidezni predmeti, je odsotnost taktilne povratne informacije. Pri nekaterih sistemih, razvitih za rehabilitacijo, so to pomanjkljivosti zmanjšali z vibracijo prek rokavic (12).

Vadba hoje z navidezno resničnostjo se izvaja na tekočem traku, redkeje v kombinaciji z vadbo hoje s pomočjo robotskih naprav (10). Pacient hodi v navideznem okolju (npr. ulica, cesta ali park v različnih vremenskih pogojih), to je lahko dopolnjeno z nalogami (npr. zbiranje kovancev, prestopanje ovir, iskanje predmetov). V Sloveniji sta v uporabi sistema Zebris, ki gibanje zaznava s kamero, in Locomat s senzori na eksoskeletu. Oba sta primarno namenjena rehabilitaciji. Najpogosteje se uporablja neimerzijska metoda z ekranom (Zebris, Locomat), redkeje projekcija na tekoči trak (Zebris). V nekaj raziskavah po možganski kapi so uporabili tudi polimerzijsko ali imerzijsko metodo (10).

Z jasnimi vidnimi vodili (cilji) gibanja v navideznem okolju se lahko navodila in povratna informacija, ki bi jo pri standardni obravnavi pacient prejel od terapevta, avtomatizirajo. Sodelovanje v navideznem okolju omogočajo senzori, ki zaznavajo gibanje telesa, s katerim vadeči opravlja naloge oziroma igre, ter omogočajo sprotne prikaz njegove izvedbe na projekciji. Poleg vidnih vodil naloge, pacient prejema tudi sprotne poudarjene povratne

informacije (vidne in slušne), ki so lahko pozitivne (znak pravilne izvedbe ali doseženega cilja) ali negativne. Tako lahko sproti spremlja uspešnost izvedbe svojega gibanja in doseganja ciljev. Opisani sta dve skupini poudarjenih povratnih informacij (13, 14):

- **Poznavanje rezultatov:** eksplicitne povratne informacije; znanje o izidu gibalne naloge oziroma igre ob njenem zaključku (ali je cilj dosežen ali ne; čas izvedbe, natančnost, prikaz napak).
- **Poznavanje izvedbe:** implicitne povratne informacije med izvedbo; znanje, ki je pridobljeno iz vidne predstavitve podatkov o kinematiki gibanja, kakovosti gibalnega vzorca (sproti prikaz gibanja uda in pravilne trajektorije, avatar, ki odseva gibanje vadečega, sproti prikaz hitrosti ali sinergij/nadomestnih gibov) ali zvok korakov, pisni ali glasovni komentarji izvedbe.

Nekatere gibalne naloge v navidezni resničnosti (videoigre) vključujejo elemente igre: imajo neko splošno temo ali cilj, vsebujejo dodatne izzive za vadečega in izvedbo točkujajo. Druge pa vadečemu posredujejo le vidno ali slušno povratno informacijo med izvedbo naloge (npr. abdukcija v ramenskem sklepu) (15).

## Prilagajanje iger sposobnostim pacienta

Pomemben dejavnik uporabnosti videoiger za fizioterapijo pri nevroloških pacientih je prilagajanje hitrosti igre, ki določa, kako hiter mora biti gibalni odgovor vadečega. Glede na nadzor hitrosti se igre delijo na:

- igre, v katerih, podobno kot pri standardni fizioterapevtski vadbi, hitrost **določa igravec** (npr. igre Wii Fit: pingvin, ravnotežni mehurček, nagibna miza), in
- igre, v katerih hitrost **določa igra**. Previsoka hitrost lahko povzroči frustracije pri igranju in zmanjšuje zadovoljstvo in motivacijo za terapijo (16).

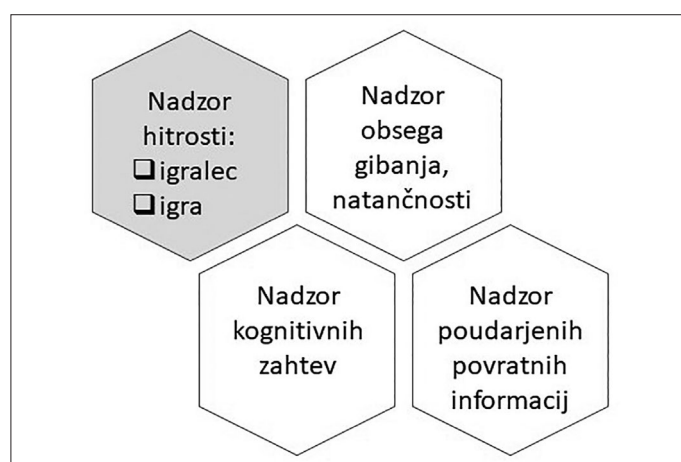
Pri sistemih, razvitih za rehabilitacijo, je več možnosti izbire iger, pri katerih hitrost določa igravec ali nastavitve oziroma izbire posameznemu pacientu primerne hitrosti določene igre. Nekatere videoigre spodbujajo premik v določen položaj in zadrževanje tega položaja za določen čas (stabilizacijo), kar je pogost fizioterapevtski cilj.

Po vzoru standardne fizioterapije sistemi za vadbo z navidezno resničnostjo, namensko razviti za rehabilitacijo, poleg nadzora hitrosti, omogočajo terapevtu tudi druge možnosti prilagajanja in stopnjevanja težavnosti igre in s tem zahtevnosti vadbe (slika 1). To omogoča vadbo pri težavnosti, ki je primerna pacientovim sposobnostim (16) ter tako razširi skupino pacientov, ki lahko vadijo z navidezno resničnostjo.

- Določanje posamezniku primerne obsega gibanja ali natančnosti gibanja: npr. dolžina ali višina koraka pri VSTEP, za vsako nogo posebej (4); prilagoditev občutljivosti pritiskovne plošče pacientovim mejam stabilnosti ali izbira ustrezne velikosti košare pri lovljenju sadja (Equio, Tymo).
- Igre, razvite za rehabilitacijo imajo pogosto preprostejšo grafiko in zvok in s tem manj kompleksna in bolj specifična vidna vodila za gibanje (cilje igre) ter manj motečih dejav-

nikov. Nadzor kognitivnih zahtev terapevtu omogoča izbiro preprostejše grafike (npr. Equio) ali izbiro poenostavljene različice igre (npr. Kokoš pri Tymo), kar lahko omogoči uporabo pri pacientih z motnjami pozornosti. Na drugi strani pa postopno stopnjevanje težavnosti omogoča tudi dodajanje dvojne naloge (npr. izogibanje ribiških mrež ali gnilega sadja med primarno nalogo igre pri Equio). Dvojno pozornost spodbujajo tudi tako imenovane kognitivne igre med vadbo za ravnotežje (spomin, povezovanje števil, matematične naloge).

- Nekateri sistemi za vadbo z navidezno resničnostjo v rehabilitaciji (npr. Locomat in Armeo) omogočajo terapevtu tudi izbiro vrste poudarjenih povratnih informacij ter kdaj jo pacient prejme (med vadbo ali takoj po njej). Slednje je za motorično učenje ugodnejše.



**Slika 1:** Raznovrstno prilagajanje iger sposobnostim pacienta, ki ga lahko omogočajo sistemi za vadbo v navidezni resničnosti, razviti za rehabilitacijo.

**Figure 1:** A variety of game adaptations to the patient's abilities that can be made possible by virtual reality training systems developed for rehabilitation.

Na temo učinkovitost vadbe z navidezno resničnostjo je objavljenih že veliko sistematičnih pregledov literature z metaanalizami. Zaradi večje uporabnosti ugotovitev v klinični praksi je bil namen tega pregleda povzeti le ugotovitve sistematičnih pregledov literature, ki so specifične za vadbo za ravnotežje, vadbo za zgornji ud ali vadbo hoje.

## METODE

V podatkovni zbirki PubMed je bila uporabljena iskalna kombinacija (virtual reality OR active video games OR exergames [Title]) AND (stroke OR poststroke [Title]) AND (systematic review [Filter]). Iskanje je zajelo vse objave do 11. februarja 2022. V pregled so bili vključeni sistematični pregledni članki randomiziranih kontroliranih poskusov, objavljeni v angleškem jeziku z metaanalizo ali brez nje, v katerih so ugotavljali učinkovitost vadbe z navidezno resničnostjo, specifično za ravnotežje, za zgornji ud ali za vadbo hoje, ali so navedeno analizirali ločeno. Če je bilo na enako temo najdenih več člankov, je bil izbran tisti, v katerem

so pregledali več raziskav oziroma je bil aktualnejši in kakovostnejši. Dodatno so bile pregledane še klinične smernice (17), ki so ustrezale navedenim merilom za vključitev.

## REZULTATI

V pregled je bilo vključenih enajst sistematičnih preglednih člankov (10, 12, 14, 15, 17–23), od tega so v štirih ugotavljali učinkovitost vadbe za ravnotežje (17–20), v šestih vadbe za zgornji ud (12, 14, 15, 21–23) in v treh vadbe hoje (10, 17, 20).

### Vadba za ravnotežje

Na splošno kaže, da je vadba za ravnotežje z navidezno resničnostjo, dodana k standardni fizioterapiji, zmerno učinkovitejša za izboljšanje ravnotežja sede in stoje od same standardne fizioterapije (18). Pri pacientih manj kot šest mesecev po možganski kapi dokazi dobre kakovosti kažejo, da je vadba za ravnotežje z neimerzijsko metodo navidezne resničnosti dodana drugim fizioterapevtskim postopkom, učinkovitejša za izboljšanje ravnotežja sede in stoje, ne pa za izboljšanje premičnosti (19). Prav tako ni bila potrjena večja učinkovitost imerzijske metode za izboljšanje enih ali drugih izidov pri tej subpopulaciji (19). Pri pacientih v kronični fazi po možganski kapi je vadba za ravnotežje z navidezno resničnostjo (samostojna ali kombinirana z drugimi fizioterapevtskimi postopki) učinkovitejša od terapevtskih ukrepov v primerjalnih skupinah, ne le za izboljšanje ravnotežja sede in stoje, temveč tudi za izboljšanje premičnosti (20). Avtorji te metaanalize so ločeno obravnavali vadbo na pritiskovni plošči Wii, za katero pa večje učinkovitosti v izboljšanju ravnotežja sede in stoje ter premičnosti v primerjavi z ukrepi v primerjalnih skupinah niso potrdili (20). Šibki dokazi kažejo, da je vadba za ravnotežje z navidezno resničnostjo lahko učinkovitejša za izboljšanje hitrosti hoje od ukrepov v primerjalnih skupinah pri pacientih v kronični fazi po možganski kapi, ki hodijo samostojno (17).

### Vadba za zgornji ud

Vadba za zgornji ud z navidezno resničnostjo je enako učinkovita za izboljšanje motoričnih funkcij ali količine uporabe zgornjega uda kot enaka količina standardne obravnave (dokazi nizke kakovosti) (21). Vendar pa vadba za zgornji ud z navidezno resničnostjo, ki je dodana standardni obravnavi, poveča količino terapije v tej skupini in posledično bolj izboljša funkcijske sposobnosti zgornjega uda (dokazi nizke kakovosti) (21). Pozneje so ugotovili, da je vadba za zgornji ud z navidezno resničnostjo učinkovitejša za izboljšanje motoričnih funkcij in/ali funkcijskih sposobnosti zgornjega uda od standardne obravnave (12, 15), pri čemer vpliva količine vadbe z navidezno resničnostjo, količine celotne vadbe ali elementov igre niso potrdili (15). Po drugi strani pa so isti avtorji z analizo, ki ni vključevala le randomiziranih kontroliranih poskusov, ugotovili, da je izboljšanje po terapiji 10,8 odstotka večje, če vadba vključuje elemente igre, ne le vidno povratno informacijo (15). Vadba z navidezno resničnostjo (brez kombinacije z živčno-mišično elektrostimulacijo ali robotskimi napravami) bolj izboljša motorične funkcije in osnovne dejavnosti vsakodnevnega

življenja kot standardna obravnava ali placebo. Nasprotno pa v učinkovitosti za izboljšanje funkcijskih sposobnosti zgornjega uda niso ugotovili razlik (22). Navedeno izboljšanje je večje pri pacientih z zmerno do hudo stopnjo ohromelosti zgornjega uda, prav tako ima vadba z imerzijsko metodo večje pozitivne učinke, z neimerzijsko pa manjše (22).

Vadba z uporabo sistemov za navidezno resničnost, razvitih za rehabilitacijo, se je izkazala za učinkovitejšo v izboljšanju motoričnih funkcij in funkcijskih sposobnosti zgornjega uda (vključno z osnovnimi dejavnostmi vsakodnevnega življenja) od standardne obravnave (12, 14), ugotovitve za vadbo s sistemi zabavne elektronike pa so nekonsistentne (12, 14). Superiornost sistemov, razvitih za rehabilitacijo, je bila značilna tudi ob upoštevanju količine vadbe (analiza raziskav z vsaj 60 minutami vadbe z navidezno resničnostjo na dan) in je bila povezana s kombinacijo načel nevrorehabilitacije (14). Sistemi navidezne resničnosti, razviti za rehabilitacijo, v kombinaciji z robotskimi napravami ali brez nje so učinkovitejši za izboljšanje motoričnih funkcij in funkcijskih sposobnosti zgornjega uda ter sodelovanja v skupnosti v primerjavi s standardno obravnavo (23). Vendar je izboljšanje prvih dveh kategorij učinkovitejše le, če se pri vadbi z navidezno resničnostjo upošteva vsaj osem od enajstih prej omenjenih načel nevrorehabilitacije, večja učinkovitost v izboljšanju motoričnih funkcij pa je potrjena tako za subakutno kot kronično fazo po možganski kapi (23). Čeprav je za trdne zaključke še premalo raziskav, kaže, da vadba z navidezno resničnostjo za zgornji ud, s sistemi, razvitimi za rehabilitacijo, izboljša tudi kognitivne funkcije (12).

### Vadba hoje

Vadba hoje z navidezno resničnostjo izboljša časovno-prostorske spremenljivke hoje, premičnost in statično ter dinamično ravnotežje sede in stoje (10). Pri tem je učinkovitejša od vadbe hoje na tekočem traku brez navidezne resničnosti (10, 20). Trdni dokazi kažejo, da je vadba hoje z navidezno resničnostjo učinkovitejša od ukrepov v primerjalnih skupinah za izboljšanje hitrosti hoje pri pacientih v kronični fazi po možganski kapi, ki hodijo samostojno (17).

### Neželeni učinki

Manjše število pacientov po možganski kapi je po vadbi z navidezno resničnostjo poročalo o bolečini, glavobolih ali vrtoglavici. Resnih neželenih učinkov ni bilo (21). Kot možen učinek navajajo tudi zvišan mišični tonus med vadbo z navidezno resničnostjo (21), kar je verjetno posledica intenzivnejše telesne dejavnosti in ga z ustreznim raztezanjem na koncu vadbe lahko inhibiramo.

## RAZPRAVA

Treba se je zavedati, da je vadba z navidezno resničnostjo lahko učinkovita zaradi njene sposobnosti spodbuditi mehanizme okrevanja, ne zaradi tehnologije (14). Prednosti terapevtske uporabe navidezne resničnosti so, da preprečuje monotonost

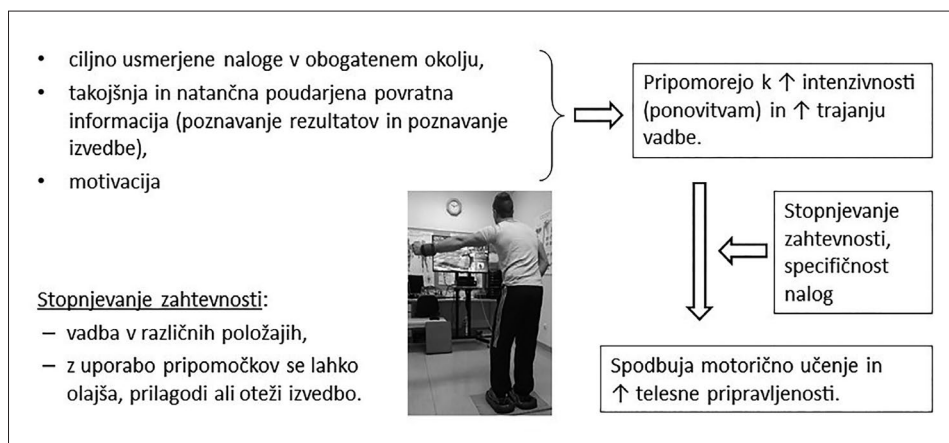


vadbe in dolgčas, zviša motivacijo in izzive za paciente in omogoča intenzivnejšo vadbo z daljšim trajanjem ter tako ob primernem stopnjevanju in specifičnosti nalog spodbudi motorično učenje in izboljšanje telesne pripravljenosti (slika 2). Motivacija je pogosto glavni argument za uporabo aktivnih videoiger v rehabilitaciji (4, 24). Pacienti po možganski kapi jih dojemajo kot zabavne vadbene igre, ne kot terapevtsko obravnavo, kar poveča motivacijo in vztrajanje pri vadbi (25). K motivaciji prispeva več dejavnikov, ti vključujejo točkovanje igre, povratno informacijo o izvedbi, pravo mero izziva in zadovoljstvo (Bermúdez I Badia et al., 2015; cit. po: 4). Zadovoljstvo je povezano z zavzetostjo za motorično učenje v navideznih okoljih, verjetno spodbuja motivacijo (24) in vodi v več časa trajajočo, intenzivnejšo dejavnost, ki je potrebna za plastične spremembe živčevja, mišično-skeletnega in srčno-žilnega sistema po možganski kapi (4). Potrjeno je, da vadba z navidezno resničnostjo pri pacientih po možganski kapi povzroči spremembe plastičnosti možganov, ki odražajo mehanizme pravega okrevanja živčevja kot tudi nadomeščanje okvarjenih možganskih funkcij (26). Pozitivna korelacija med plastičnimi spremembami v možganih in funkcijskim okrevanjem razjasni mehanizme terapevtskih učinkov navidezne resničnosti pri tej populaciji (26).

Sistematični pregled (20), v katerega je bilo zajetih le sedem raziskav o učinkovitosti vadbe na pritiskovni plošči Wii, ni pokazal superiornosti za izboljšanje ravnotežja in premičnosti glede na ukrepe v primerjalnih skupinah. Ugotovitve o večji učinkovitosti vadbe za zgornji ud s sistemi zabavne elektronike v primerjavi s standardno obravnavo pa so nekonsistentne (12, 14). Sistemi zabavne elektronike so cenovno dostopnejši, imajo visokokakovostno grafiko in raznolikost. Imajo pa tudi več pomembnih omejitev za terapevtsko uporabo. Pogosto predstavitev ni iz uporabnikove perspektive, ne dosegajo terapevtskih ciljev, ne merijo za terapijo pomembne izvedbe in ne spodbujajo zelenih gibalnih vzorcev (27, 28). Spodbujanje neželenih gibalnih vzorcev je še posebno problematično pri pacientih po možganski kapi z asimetričnim gibanjem. O pomanjkanju nadzora pri nastavljenosti parametrov igre, kot je hitrost ali težavnost igre pri teh sistemih, so poročali tako terapevti kot pacienti (16). Da bi olajšali njihovo uporabo v fizioterapiji, so objavili analize iger Wii Sports in Wii Fit (13) ter Kinect Adventures in Kinect Sports za Xbox 360 (29, 30), v katerih so izpostavili elemente motoričnega učenja in terapevtske vadbe. Kljub navedenim omejitvam je v klinični praksi najbolj

razširjena uporaba sistema Nintendo Wii, v 41 odstotkih (1), oziroma Nintendo Wii Fit (31). Če je to potrebno, se način igranja lahko nekoliko prilagodi zmanjšanim sposobnostim pacienta (npr. igranje sede na ravnotežni plošči Wii ali stoje s standardno hoduljo za oporo, pritrditev upravljavca z opornico). Uporaba kamere Kinect ali drugih sistemov za navidezno resničnost s kamerami je lahko pri nevroloških pacientih neizvedljiva, ker digitalizacija telesa vadečega ne dovoljuje neposredne bližine terapevta. To je verjetno eden od razlogov za manj številne raziskave s sistemom Kinect (32). Žal so najbolj razširjena sistema zabavne elektronike (Nintendo Wii, Microsoft Kinect 360), ki sta vključevala več aktivnih videoiger, primernih za uporabo pri pacientih, že prenehali proizvajati. So pa po zelo ugodnih cenah dosegljivi v trgovinah z rabljeno elektronsko opremo in videoigami. Ker so igre zabavne elektronike v celoti kompleksnejše, prilagodljivost težavnosti potrebam in sposobnostim posameznika pa ni mogoča (13, 33), mora terapevt med razpoložljivimi izbrati za pacienta primerne igre, ki bodo ustrezale njegovim sposobnostim in omogočile doseganje terapevtskih ciljev. Zaradi navedenega je uporaba teh sistemov primerna pri funkcijsko zmogljivejših pacientih po možganski kapi in drugih.

Analiza izvedbe postopkov vadbe (34), kot so jih opisali avtorji raziskav o uporabi v prodaji dostopnih sistemov navidezne resničnosti (zabavne elektronike in razvitih za rehabilitacijo) za izboljšanje ravnotežja in hoje, je pokazala pomanjkljive klinične utemeljitve za uporabo te tehnologije, izbire iger ter vloge terapevta. Če je bilo navedeno, so vadbo z navidezno resničnostjo večinoma nadzorovali in varovali fizioterapevti (34). Tudi naše izkušnje z uporabo sistemov zabavne elektronike, pa tudi sistemov, razvitih za rehabilitacijo pri pacientih po možganski kapi, kažejo, da je prisotnost fizioterapevta potrebna za zagotavljanje optimalnega gibanja in varnosti. To ni skladno s trditvijo avtorjev pregleda Cochrane (21), da zaradi sprotnih povratnih informacij o izvedbi nekateri sistemi omogočajo, da pacient vadi brez terapevtovega nadzora. Verjetno je to izvedljivo, če naloga za ravnotežje posameznika ni (dovolj) zahtevna, kar pa terapevtsko ni smiselno. Le v redkih raziskavah so navedli prilagajanje vadbe potrebam posameznika in vrste povratnih informacij (34). Treba se je tudi zavedati, da poudarjene informacije niso naravna posledica gibanja, na začetku motoričnega učenja so koristne, nato pa jih je treba postopno zmanjševati, da se začne pacient med gibanjem ponovno zanašati na svoje lastne povratne informacije.



**Slika 2:** Pomembni elementi vadbe z navidezno resničnostjo v fizioterapiji ter njihov vpliv na motorično učenje in telesno pripravljenost.

**Figure 2:** Important elements of virtual reality exercise in physiotherapy and their impact on motor learning and physical fitness.

Maier et al. (14) so izpostavili 11 načel nevrorehabilitacije. Vrednotenje teh načel je pokazalo, da avtorji raziskav z uporabo sistemov zabavne elektronike poudarjajo raznoliko vadbo, spodbujanje uporabe okvarjenega zgornjega uda in količino vadbe. Po drugi strani pa avtorji raziskav s sistemi navidezne resničnosti, razvitimi za rehabilitacijo, poleg prvih dveh načel zagovarjajo še vadbo specifičnih funkcijskih nalog, poznavanje izvedbe in poznavanje rezultatov ter povečevanje težavnosti (14), kar je, kot kaže, povezano z učinkovitostjo vadbe za zgornji ud (14, 23). Pri vadbi za ravnotežje je število raziskav še premajhno, da bi lahko ločeno analizirali različne sisteme in načine vadbe z navidezno resničnostjo, na primer na pritiskovni plošči ali prosto v prostoru (s kamero), kar je z gibalnega vidika precej različno. Tudi pri vadbi za zgornji ud bi bilo smiselno ločeno analizirati sisteme oziroma igre, ki so osredotočene na proksimalni del zgornjega uda, od tistih, ki so namenjene funkciji distalnega dela. Čeprav so pri vadbi za ravnotežje ločeno potrdili le večjo učinkovitost neimerzijske metode, ne pa imerzijske (19), so pri vadbi za zgornji ud pozitivni učinki imerzijske metode večji, neimerzijske pa manjši (22). Tudi pri vadbi za ravnotežje in hojo z navidezno resničnostjo verjetno igrajo poglobljeno vlogo intenzivnost, trajanje, stopnjevanje, specifičnost nalog (slika 2), kar je zajeto tudi v načelih nevrorehabilitacije (14) in velja za fizioterapijo na splošno. Na tem mestu naj izpostavim multicentričen randomiziran kontroliran poskus (35), v katerem so ugotovili, da med vadbo za zgornji ud z igrami Wii Sports in Game party 3 ter preprostimi zabavnimi igrami (igralne karte, tombola, jenga, igra z žogo) enakega trajanja in kot dodatek k standardni rehabilitaciji pacientov v akutni fazi po možganski kapi ni razlike v izidih Wolfovega testa motoričnih funkcij ali varnosti. Pri obeh skupinah je terapevt s povratnimi informacijami preprečeval neprimerne nadomestne gibe, obe vadbi sta bili usmerjeni k terapevtskim ciljem in prilagojeni sposobnostim pacienta, ki je lahko izbiral med igrami za del obravnave. To kaže, da je način vadbe verjetno manj pomemben, če je vadba dovolj intenzivna in funkcijsko specifična (35), s posamezniku primernimi izzivi. Raznolikost uporabe sodobnih iger v rehabilitaciji po možganski kapi so povzeli v nedavnem sistematičnem preglednem članku (31).

Vadbo z navidezno resničnostjo za ravnotežje, funkcijske sposobnosti zgornjega uda in hojo kot dodatek k standardni obravnavi priporočajo tudi slovenska priporočila za fizioterapijo po možganski kapi (36).

## ZAKLJUČKI

Prednosti terapevtske uporabe navidezne resničnosti so, da preprečuje monotonost vadbe in dolčas ter zviša motivacijo in izzive za paciente, vendar le, če izbrane igre ustrezajo pacientovim sposobnostim in omogočajo doseganje terapevtskih ciljev.

Vadba z navidezno resničnostjo je učinkovitejša od ukrepov v primerjalnih skupinah za izboljšanje ravnotežja sede in stoje, tako v subakutni kot tudi kronični fazi po možganski kapi, v kronični fazi pa tudi za izboljšanje premičnosti in hitrosti hoje. Vadba z navidezno resničnostjo je učinkovitejša od standardne obravnave

za izboljšanje motoričnih funkcij zgornjega uda, glede funkcijskih sposobnosti ter osnovnih dejavnosti vsakodnevnega življenja so ugotovitve nekonsistentne. Kaže, da je navedeno izboljšanje večje pri pacientih z zmerno do hudo okvaro in ob uporabi imerzijske metode. Pri vadbi za zgornji ud je potrjena superiornost sistemov, razvitih za rehabilitacijo, v primerjavi s standardno obravnavo, vendar le, če se pri vadbi upošteva vsaj osem načel nevrorehabilitacije. Vadba hoje z navidezno resničnostjo je učinkovitejša od same hoje na tekočem traku oziroma od ukrepov v primerjalnih skupinah za izboljšanje ravnotežja in hitrosti hoje pri pacientih, ki hodijo samostojno.

## Literatura:

1. Levac D, Glegg S, Colquhoun H, Miller P, Noubary F. Virtual reality and active videogame-based practice, learning needs, and preferences: a cross-canada survey of physical therapists and occupational therapists. *Games Health J.* 2017;6(4):217–28.
2. Wüest S, Borghese NA, Pirovano M, Mainetti R, van de Langenberg R, de Bruin ED. Usability and effects of an exergame-based balance training program. *Games Health J.* 2014;3(2):106–14.
3. Rudolf M, Goljar N, Cikajlo I. Vadba ravnotežja s sistemom Rewire pri bolnikih po možganski kapi. *Rehabilitacija.* 2018;17(2):28–34.
4. Deutsch JE, James-Palmer A, Demodaran H, Puh U. Comparison of neuromuscular and cardiovascular exercise intensity and enjoyment between standard of care, off-the-shelf and custom active video games for promotion of physical activity of persons post-stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 2021;18(1):63.
5. Boyne P, Billinger S, MacKay-Lyons M, Barney B, Khoury J, Dunning K. Aerobic exercise prescription in stroke rehabilitation: a web-based survey of US physical therapists. *J Neurol Phys Ther.* 2017;41(2):119–28.
6. Kafri M, Myslinski MJ, Gade VK, Deutsch JE. Energy expenditure and exercise intensity of interactive video gaming in individuals poststroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2014;28(1):56–65.
7. Deutsch JE, Guarrera-Bowlby P, Myslinski MJ, Kafri M. Is there evidence that active videogames increase energy expenditure and exercise intensity for people poststroke and with cerebral palsy? *Games Health J.* 2015;4(1):31–7.
8. Deutsch JE, Myslinski MJ, Kafri M, Ranky R, Sivak M, Mavroidis C, et al. Feasibility of virtual reality augmented cycling for health promotion of people poststroke. *J Neurol Phys Ther.* 2013;37(3): 118–24.
9. Mirelman A, Patrilli BL, Bonato P, Deutsch JE. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke. *Gait Posture.* 2010;31(4):433–7.
10. De Keersmaecker E, Lefebvre N, Geys M, Jaspers E, Kerckhofs E, Swinnen E. Virtual reality during gait training: does it improve gait function in persons with central nervous system movement disorders? A systematic review and meta-analysis. *NeuroRehabilitation* 2019;44(1):43–66.
11. Palacios-Navarro G, Hogan N. Head-mounted display-based therapies for adults post-stroke: a systematic review and meta-analysis. *Sensors (Basel).* 2021;21(4):1111.
12. Aminov A, Rogers JM, Middleton S, Caeyenberghs K, Wilson PH. What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review



- and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15(1):29.
13. Deutsch JE, Brettler A, Smith C, Welsh J, John R, Guarra-Bowly P, et al. Nintendo Wii sports and Wii fit game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation. *Top Stroke Rehabil.* 2011;18(6):701–19.
  14. Maier M, Rubio Ballester B, Duff A, Duarte Oller E, Verschure PFMJ. Effect of specific over nonspecific VR-based rehabilitation on poststroke motor recovery: a systematic meta-analysis. *Neurorehabil Neural Repair.* 2019;33(2):112–29.
  15. Karamians R, Proffitt R, Kline D, Gauthier LV. Effectiveness of virtual reality- and gaming-based interventions for upper extremity rehabilitation poststroke: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101(5):885–96.
  16. Hung YX, Huang PC, Chen KT, Chu WC. What do stroke patients look for in game-based rehabilitation: a survey study. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(11):e3032.
  17. Hornby TG, Reisman DS, Ward IG, Scheets PL, Miller A, Haddad D, et al. Clinical practice guideline to improve locomotor function following chronic stroke, incomplete spinal cord injury and brain injury. *J Neurol Phys Ther.* 2020;44(1):49–100.
  18. Mohammadi R, Semnani AV, Mirmohammadkhani M, Gram-purohit N. Effects of virtual reality compared to conventional therapy on balance poststroke: a systematic review and meta-analysis. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019;28(7):1787–98.
  19. Garay-Sánchez A, Suarez-Serrano C, Ferrando-Margelí M, Jimenez-Rejano JJ, Marcén-Román Y. Effects of immersive and non-immersive virtual reality on the static and dynamic balance of stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med.* 2021;10(19):4473.
  20. Iruthayarajah J, McIntyre A, Cotoi A, Macaluso S, Teasell R. The use of virtual reality for balance among individuals with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis. *Top Stroke Rehabil.* 2017;24(1):68–79.
  21. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;11(11):CD008349.
  22. Jin M, Pei J, Bai Z, Zhang J, He T, Xu X, et al. Effects of virtual reality in improving upper extremity function after stroke: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Rehabil.* 2021;2692155211066534 [v tisku]. Doi: 10.1177/02692155211066534 (citirano 16. 1. 2022).
  23. Doumas I, Everard G, Dehem S, Lejeune T. Serious games for upper limb rehabilitation after stroke: a meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil.* 2021;18(1):100.
  24. Rohrbach N, Chicklis E, Levac DE. What is the impact of user affect on motor learning in virtual environments after stroke? A scoping review. *J Neuroeng Rehabil.* 2019;16(1):79.
  25. Kwon JS, Park MJ, Yoon IJ, Park SH. Effects of virtual reality on upper extremity function and activities of daily living performance in acute stroke: a double-blind randomized clinical trial *NeuroRehabilitation* 2012;31(4):379–85.
  26. Hao J, Xie H, Harp K, Chen Z, Siu KC. Effects of virtual reality intervention on neural plasticity in stroke rehabilitation: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021:S0003-9993(21)01305-8 [v tisku]. Doi: 10.1177/02692155211066534 (citirano 16. 1. 2022).
  27. Levac DE, Galvin J. Facilitating clinical decision-making about the use of virtual reality within paediatric motor rehabilitation: application of a classification framework. *Dev Neurorehabil.* 2011;14(3):177–84.
  28. Wiemeyer J, Deutsch J, Malone LA, Rowland JL, Swartz MC, Xiong J, et al. Recommendations for the optimal design of exergame interventions for persons with disabilities: challenges, best practices, and future research. *Games Health J.* 2015;4(1):58–62.
  29. Levac D, Espy D, Fox E, Pradhan S, Deutsch JE. "Kinect-ing" with clinicians: a knowledge translation resource to support decision making about video game use in rehabilitation. *Phys Ther.* 2015;95(3): 426–40.
  30. Givon Schaham N, Zeilig G, Weingarden H, Rand D. Game analysis and clinical use of the Xbox-Kinect for stroke rehabilitation. *Int J Rehabil Res.* 2018;41(4):323–30.
  31. Saeedi S, Ghazisaeeedi M, Rezayi S. Applying game-based approaches for physical rehabilitation of poststroke patients: a systematic review. *J Healthc Eng.* 2021:9928509.
  32. Xavier-Rocha TB, Carneiro L, Martins GC, Vilela-Júnior GB, Passos RP, Pupe CCB, et al. The Xbox/Kinect use in poststroke rehabilitation settings: a systematic review. *Arq Neuropsiquiatr.* 2020;78(6):361–9.
  33. Deutsch JE, Hoehlein B, Priolo M, Pacifico J, Damodaran H, Puh U. Custom game paced video games played by persons post-stroke have comparable exercise intensity but higher accuracy, greater enjoyment and less effort than off-the-shelf game. In: 2019 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR), July 21-24 Tel Aviv, Israel. Intitute of Electricaol and Electronics Engineers; 2019.
  34. Weber H, Barr C, Gough C, van den Berg M. How commercially available virtual reality-based interventions are delivered and reported in gait, posture, and balance rehabilitation: a systematic review. *Phys Ther.* 2020;100(10):1805–15.
  35. Saposnik G, Cohen LG, Mamdani M, Pooyania S, Ploughman M, Cheung D, et al. Stroke outcomes research Canada. Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *Lancet Neurol.* 2016;15(10):1019–27.
  36. Puh U, Kržišnik M, Freitag T, Rudolf M, Štrumelj T, Goljar N. Priporočila za fizioterapijo po možganski kapi. *Fizioterapija* 2022;30 [v objavi].

# SOFT WEARABLE ROBOTICS FOR REHABILITATION

## NOSLJIVA ROBOTIKA V REHABILITACIJI

izr. prof. dr. Vineet Vashista

Indian Institute of Technology Gandhinagar, India

### Abstract

Human-Robot Interaction (HRI) is the study of interactions between humans and robots. In particular, the major focus is on understanding, designing, and evaluating robotic systems for use by or with humans. This outlook was first illustrated by 20th-century novelist Isaac Asimov. In 1941, in his novel *I, Robot*, he stated the "Three Laws of Robotics" to determine the idea of safe interaction between robots and humans. With the advances in technology, such as computational capability, artificial intelligence, controllers, and system understanding, we have come a long way since then to allow more natural and effective interaction between humans and robots. In this talk, the speaker highlights the human-robot physical collaboration aspect of HRI. The talk will give a general overview of soft wearable robots for rehabilitation. The speaker will take a few examples of cable-driven robots for pelvic and lower extremity assistance to highlight the design and control of such devices. A few experimental studies will also be presented to narrate the benefits and challenges of the soft wearable robotics.

### Key words:

human-robot interaction; robots for rehabilitation; cable-driven robots

### Povzetek

*Interakcija med človekom in robotom (IČR) preučuje sodelovanje ljudi in robotov. Poseben poudarek daje razumevanju, načrtovanju in vrednotenju robotskih sistemov, ki jih ljudje uporabljajo ali z njimi sodelujejo. Ta vidik je prvi orisal Isaac Asimov, pisatelj iz 20. stoletja. Leta 1941 je v zgodbi »Jaz, robot« zapisal tri zakone robotike, ki določajo varno sodelovanje med roboti in ljudmi. Z naprednimi tehnologijami, kot so računalniške zmognosti, umetna inteligenca, elektronski kontrolniki in razumevanje sistemov, smo od tistega časa prehodili dolgo pot do bolj naravnega in učinkovitega sodelovanja med ljudmi in roboti. V prispevku bo avtor v okviru IČR osvetlil vidik fizičnega sodelovanja človeka in robota. Podal bo splošen pregled nosljivih robotov za uporabo v rehabilitaciji. Prikazal bo primere visečih robotov za podporo medenice in spodnjih udov, s čimer bo izpostavil načrtovanje in nadzor takih naprav. Predstavil bo tudi nekaj eksperimentalnih raziskav, ki kažejo dobrobiti in izzive v nosljivi robotiki.*

### Ključne besede:

*interakcija med človekom in robotom; rehabilitacijski roboti; viseči roboti*

# SODOBNE METODE MERJENJA GIBANJA

## CONTEMPORARY METHODS OF MOVEMENT MEASUREMENT

doc. dr. Andrej Olenšek, univ. dipl. inž. el.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

Zmožnost dobro koordinirati gibanje je verjetno ena najpomembnejših sposobnosti, ki se jih človek nauči. Omogoča natančno premikanje in izvajanje aktivnosti v tri-dimenzionalnem prostoru kot tudi natančno manipulacijo predmetov. Ker je kot tako neposredno povezano s kakovostjo življenja, je zanimanje za proučevanje in analizo človekovega gibanja že dolgo prisotno, vedno pa je bilo podvrženo trenutnim tehnološkim rešitvam in teoretičnemu znanju. V kliničnem okolju se moderne metode merjenja gibanja danes ne omejujejo zgolj na merjenje kinematike, ampak združujejo še merjenje kinetike, pogosto pa se vključuje še dinamično elektromiografijo. So široko uporabne na vseh raziskovalnih področjih, kjer je gibanje osrednji predmet proučevanja, na področju rehabilitacije in v klinični kineziologiji, na športnem področju in zabavni industriji. Za merjenje kinematike se mnogokrat uporabljajo elektronski goniometri in inercialni senzorji, v zadnjem čas pa jih pogosto nadomeščajo optični sistemi za merjenje gibanja, saj je bilo zanje razvitih mnogo standardnih protokolov merjenja. Za merjenje kinetike so precej enostavno uporabljajo pritiskovni senzorji, integrirani v vložke za čevlje ali v pohodne podloge. Ker merijo zgolj vertikalno obremenitev, za natančnejše merjenje reakcijskih sil pogosto porabljamo pritiskovne plošče, še boljše alternativa pa so instrumentacijski tekoči trakovi s pohodno površino deljeno v pohodno površino za levo in desno nogo. Danes so sistemi za merjenje in analizo gibanja temeljni integralni del sodobnih avtomatiziranih rehabilitacijskih rešitev.

### Ključne besede:

analiza hoje; kinematika in kinetika hoje; sklepni koti; sklepni momenti in moči; reakcijska sila podlage

### Abstract

*Being able to appropriately coordinate movement is probably one of the most important capabilities that humans learn. It enables accurate movement and performing activities in three-dimensional space as well as accurate manipulation of objects. As this is so directly related to the quality of living, the interest for studying and analysis of human movement has been long present, yet limited to available technological solutions and theoretical knowledge. Contemporary methods of movement measurement in clinical environment are not limited to kinematics measurements, but also combined with measurement of kinetics and often also include dynamic electromyography. They are widely used in all research areas where the movement is of primary interest, in rehabilitation and in clinical kinesiology, in sport and in the entertainment industry. Electronic goniometers and inertial sensors are often used for measuring kinematics. However, they are increasingly replaced by optical systems for which standardised measurement protocols have been developed. For kinetic measurements, pressure sensors integrated into shoe insoles or walkways are often used. As they only measure vertical pressure, force plates provide a more accurate alternative for measuring ground reaction forces. Even more advanced are instrumented treadmills with walking surface split into separate walking surfaces for the left and right leg. Systems for movement measurement and analysis are today a basic integral element of modern automated rehabilitation solutions.*

### Keywords:

*gait analysis; gait kinematics and kinetics; joint angles; joint moments and powers; ground reaction force*

## UVOD

Zmožnost dobro koordinirati gibanje je verjetno ena najpomembnejših sposobnosti, ki se jih človek nauči. Omogoča natančno premikanje in izvajanje aktivnosti v tri-dimenzionalnem prostoru kot tudi natančno manipulacijo predmetov. Ker je kot tako neposredno povezano s kakovostjo življenja, je zanimanje za proučevanje in analizo človekovega gibanja že dolgo prisotno, vedno pa je bilo podvrženo trenutnim tehnološkim rešitvam in teoretičnemu znanju (1).

Prvi začetki proučevanja gibanja so tako bili omejeni na opazovanje, ki je bilo tudi osnova za razvoj prvih intuitivnih teorij o kontroli gibanja (2). Z razvojem anatomije so nastala spoznanja, da so motorji gibanja mišice in njihova zmožnost krčenja (3), gibanje pa se je s celotnega telesa pričelo členiti v gibanje trupa in posameznih segmentov (4). S pojavom modernih principov gibanja je bilo možno empirična opazovanja gibanja teoretično podpreti. Z gibanjem so pričeli povezovati razdalje in čas, torej tudi hitrost gibanja, upoštevati so začeli sile kot vzrok gibanja in podperne točke oziroma ploskve telesa (3). Novi fizikalni koncepti kot so dinamika gibanja, masa, vztrajnost in sila, ki jih je vpeljal Newton, so teoretičnemu razlaganju gibanja dali nov zagon. Razvili so se prvi formalni matematični modeli gibanja in eksperimentalni pristopi, ki so modele validirali. Pomemben napredek pri analizi gibanja je predstavljal nastanek moderne kinematografije proti koncu 19. st., ki je omogočala zajemanje kinematičnih parametrov iz zaporednih fotografij oseb med gibanjem (Muybridge in Marey) (5, 6). Kmalu je bilo znano, da je s sočasno uporabo več kamer, in oblekami z reflektivnimi oznakami ali markerji moč precej natančneje izmeriti gibanje točk v tri-dimenzionalnem prostoru, pojavili pa so se tudi zametki miokinezičnih metod, ko so s palpatornimi tehnikami ocenili periode mišičnih aktivnosti med hojo. Sčasoma je pojem merjenja gibanja združil posamezne vidike gibanja in se razširil na merjenje kinematike v vseh treh ravninah gibanja, razvoje dinamometrije je omogočal merjenje reakcijskih sil in momentov podlage ter centra pritiska, razvoj elektromiografije pa je omogočalo natančno določanje period mišičnih aktivnosti posameznih mišičnih skupin (7, 8). Poleg gibanja zdravih ljudi se je vedno več pozornosti namenilo proučevanju gibanja oseb z nevrološkimi in živčno-mišičnimi boleznimi (9–11). Nov korak na področju merjenja gibanja je predstavljal uporaba video kamer

in analizatorja gibanja namesto fotografije. Kmalu se je tudi ta postopek avtomatiziral in nastal je avtomatski sistem za analizo gibanja. Hiter razvoj video kamer v kombinaciji z računalniki je izboljševal natančnost in točnost merjenja ter proučevanja človekovega gibanja, kar je spodbudilo širšo klinično uporabnost (9–11). Danes v okviru merjenja in analize gibanja razumemo kinematiko (tri-dimenzionalno merjenje sklepnih kotov, hitrosti in pospeškov), kinetiko (reakcijske sile podlage, sklepne sile, momenti in moči) in dinamično elektromiografijo (EMG). Prav tako se je uporaba merjenja in analize gibanja močno razširila na mnoga raziskovalna področja povezana z gibanjem, v klinično okolje in področje rehabilitacije, na področje športa in ergonomije, kot tudi v zabavno industrijo.

## MODERNE TEHNOLOGIJE MERJENJA GIBANJA

### Kinematika

**Elektronski goniometri** (Slika 1) predstavljajo preprosto in cenovno ugodno rešitev za brezžično merjenje sklepnih kotov v eni ali dveh ravninah (12). Sestavljeni so iz dveh mehanskih segmentov, ki sta med sabo povezana z uporovnim elementom. Segmenta goniometra se namestita na sosednja segmenta telesa, med katerima želimo meriti sklepni kot, električne lastnosti uporovnega elementa, ki se spremenijo ob spreminjanju sklepnega kota, pa se pretvorijo v ustrezno velikost kota. Enostavni so za uporabo vendar sta točnost in natančnost merjenja precej odvisni od namestitve in sta podvržena premikanju kože in konstituciji segmentov, kamor jih namestimo. Zato se največkrat uporabljajo za oceno obsega gibanja ali manjšega števila sklepnih kotov, za natančnejše merjenje več sklepnih kotov človekovega telesa pa se redko uporabljajo in jih nadomeščajo optični sistemi z markerji.

**Inercijski senzorji gibanja** (IMU – Inertial Measurement Unit) so kompaktno merilne enote (Slika 1), ki najpogosteje združujejo tehnologije žiroskopov, ki merijo hitrost zasuka segmenta, in pospeškometrov, ki merijo linearne pospeške segmenta, ter včasih magnetometrov, ki merijo orientacijo segmenta glede na določeno smer v globalnem koordinatnem sistemu (13). So dokaj enostavni za uporabo, uporaba ni omejena na določen prostor ampak jih je



**Slika 1:** Sistemi za merjenje kinematike: elektronski goniometri – Biometrics Ltd. (levo) (11), inercijski senzorji gibanja – Xsens (12) (sredina), optični sistem merjenje gibanja – Vicon (14) (desno).

**Figure 1:** Systems for measuring kinematics: electronic goniometers Biometrics Ltd. (left) (11), inertial measurement units – Xsens (12) (middle), optical motion capture system – Vicon (14) (right).



možno uporabljati na prostem in so cenovno dostopni. Njihova največja slabost je akumulacija napake merjenja skozi meritev, ki nastane zaradi integriranja signalov pospeška, in vpliv feromagnetskih materialov v bližini. Od natančnosti senzorjev in dodatne obdelave signalov je odvisno kako hitro in v kolikšni meri tovrstna napaka vpliva na kakovost meritve. Moderne rešitve, kot jih na primer ponuja Xsens (14), združujejo več inercialnih senzorjev integriranih na več mestih v posebni obleke, tako da lahko sledimo gibanju več segmentov hkrati, med njimi izračunamo relativne sklepne kote, hitrosti in pospeške gibanja in podatke grafično ali v animaciji predstavimo. Tovrstni pristopi sledenja in analize gibanja so zelo zanimivi tako za zabavno industrijo kot tudi za raziskovalne namene na področju biomehanike, športa in ergonomije.

**Optični sistemi merjenja gibanja** (Vicon, Qualisys, Optitrack, Codamotion) trenutno predstavljajo standard na področju merjenja kinematike (Slika 1). Sistem obsega večje število kamer – vsaj dve običajno pa več, v zabavni industriji tudi več deset – ki se jih razporedi v prostoru tako, da vse zajemajo posnetek človeka med gibanjem (15). Na človeka se namestijo bodisi aktivni markerji, ki predstavljajo izvor infra-rdeče svetlobe, bodisi pasivni markerji, ki so prevlečeni s slojem, ki infra-svetlobo od površine odbija. Temu ustrezno kamere vsaj zajemajo infra-rdeči spekter svetlobe, lahko pa so tudi izvor infra-rdeče svetlobe, ki najprej potuje do markerja in se od njega odbije nazaj do kamere. Po kalibraciji kamer se tri-dimenzionalna pozicija markerja v globalnem koordinatnem sistemu izračuna iz kombinacije posnetkov vseh kamer, točnost manj kot milimeter pa je običajna. Čeprav se optični sistemi merjenja gibanja lahko uporabijo v poljubni aplikaciji, so v prvi vrsti bili razviti za merjenje in analizo človekovega gibanja. V tem smislu se je veliko pozornosti namenilo optimalni namestitvi markerjev, kar je sčasoma vodilo k standardnim modelom namestitve markerjev (npr. različice modela Helen-Heyes, Plug in Gait). Modeli namestitve markerjev predpisujejo namestitve markerjev nad določene izpostavljene točke skeletnega sistema, ki niso močno prekrivane z mišicami. Na ta način se zagotovi, da se markerji med gibanjem zaradi kontrakcije mišic ne premikajo, kar bi sicer zmotno lahko pripisali gibanju telesa. Modeli prav tako določajo postopke, kako naj se iz izmerjenih pozicij markerjev izračunajo sklepni koti in hitrosti, ter časovni in dolžinski parametri hoje. Točnost in natančnost merjenja gibanja takšnega pristopa je precej

boljša, kot pri drugih metodah, skupaj s standardizacijo namestitve markerjev in izračuna kinematike pa je omogočila standardiziranje in avtomatizacijo postopka merjenja človekovega gibanja. To je omogočilo široko uporabo enakega pristopa merjenja gibanja človeka po svetu, kar je odprlo vrata tudi v klinično uporabo.

**Optični sistem za zajemanje in analizo gibanja Vicon** (Slika 1) velja danes za metodo izbora na področju klinične kineziologije (15). Običajno se ga združuje s talnimi pritiskovnimi ploščami za merjenje reakcijskih sil in momentov podlage, ki v kombinaciji s kinematiko omogoča še izračun kinetike hoje (sklepnih momentov in moči), vključuje pa lahko še elektromiografski sistem za merjenje mišičnih aktivnosti. Merjenje je med vsemi sistemi sinhronizirano. Slabost konfiguracije s pritiskovnimi ploščami je v mnogem številu potrebnih ponovitev meritev, saj lahko kinetiko hoje izmerijo le med dostopom na pritiskovno ploščo. Do neke mere se to lahko izboljša z več zaporednimi pritiskovnimi ploščami, v celoti pa se težavi izognemo, če analiza gibanja poteka na instrumentacijskem tekočem traku z ločenima pohodnima površinama za levo in desno nogo. Na ta način se v vsakem koraku izmerita tako kinematika kot tudi kinetika gibanja. Optičnim sistemom za merjenje in analizo gibanja se najpogosteje očita zamudno nameščanje markerjev pri obsežnih modelih markerjev. V ta namen se v zadnjem času veliko sredstev vlaga v razvoj **sistemov za merjenje in analizo gibanja brez markerjev** (Contemphas Templo) (16). Delujejo podobno kot optični sistemi, z visoko resolucijskimi hitrimi kamerami torej zajemajo človekovo telo med gibanjem, podatke o gibanju – sklepnih kotih – pa dobijo zgolj iz posnetkov gibanja in ne več markerjev. Raziskave kažejo dobro točnost, tehnologija pa kaže velik aplikativni potencial tako na področju športa in raziskovalnega dela, kot tudi v klinični uporabi.

## Kinetika

Pri analizi gibanja nas običajno zanimajo tudi vzroki gibanja, to so sile in momenti. Sklepnih sil in momentov ne moremo neposredno meriti, lahko pa jih z ustreznim modelom telesa izračunamo, če poznamo zunanje sile na telo. Vedno je prisotna sila teže, ki vleče telesa proti Zemljinem površju in jo ne merimo, ampak jo izračunamo kot produkt mase in gravitacijskega pospeška. Pri proučevanju gibanja privzamemo, da na telo deluje tudi reakcijska



**Slika 2:** Sistemi za merjenje kinetike: vložki za čevlje – Fsrtek (levo) (15), pohodna podlaga – GAITRite (16) (sredina), pritiskovna plošča AMTI (17) (desno).

**Figure 2:** Systems for measuring kinetics: shoe insoles – Fsrtek (left) (15), walkway – GAITRite (16) (middle), force plate – AMTI (17) (right).

sila podlage, ki nasprotuje sili teže. Najpreprosteje jo lahko merimo z **vložki za čevlje** (Slika 2), ki imajo vgrajene uporovne senzorcje, ki obremenitev pretvorijo v ustrezen meritev sile. Napredne rešitve vsebujejo več senzorjev, s katerimi poleg merjenja vertikalne komponente reakcijske sile podlage lahko ocenimo v kateri točki sila deluje na telo – center pritiska (17). Na ta način lahko ocenimo tudi časovno sosledje posameznih faz med hojo. Slabost teh rešitev sta slabša točnost in natančnost, in da lahko merijo zgolj vertikalno komponento reakcijske sile podlage, ne pa tudi medio-lateralno ali antero-posteriorno.

Njim sorodne so **pohodne podlage**. Med bolj prisotnimi v kliničnem okolju je pohodna podlaga GAITRite (Slika 2) (18). V pohodni površini ima integrirano gosto mrežo senzorjev pritiska, ki ob obremenitvi omogočajo razpoznavanje geometrije pritiska, moč je določiti relativne pozicije med posameznimi pritiski in določiti vertikalno obremenitev. Algoritmi programske opreme samodejno ločujejo med posameznimi obremenitvami in jih identificirajo kot stopinje, jih ločujejo med obremenitev leve in desne strani, iz geometrije obremenitve stopinje pa ocenijo položaj pete, sredine in prednjega dela stopala. To omogoča merjenje nabora dolžinskih (smer hoje, dolžina in širina koraka in dvokoraka, prehojena razdalja) in časovnih (čas dotika, dviga pete, dviga prstov, čas trajanja koraka in dvokoraka, hitrost hoje, časovno in relativno trajanje faz hoje) parametrov hoje. Prednost pohodnih podlog je enostavna namestitvev in zajemanje podatkov več zaporednih korakov, pri čemer oseb predhodno ni potrebno opremiti z morebitnimi merilnimi pripomočki. To omogoča hitro izvedbo meritve hoje, kar je posebej dobrodošlo pri oseb, kjer hoja in vzdrževanje ravnotežja predstavlja večji napor. Poleg običajne pohodne površine v obliki ravnega traku obstajajo tudi kompleksnejše konfiguracije pohodnih površin, ki omogočajo merjenje parametrov hoje med spreminjanjem smeri, obračanjem ali stopanjem na stopnico ali z nje (18).

Precej bolj točne in natančne so **pritiskovne plošče** (npr. AMTI), ki ob obremenitvi izmerijo reakcijsko silo in moment podlage v vseh treh ravninah gibanja (Slika 2) (19). Pri analizi človekovega gibanja meritve reakcijskih sil in momentov podlage najpogosteje uporabljamo v kombinaciji z merjenjem gibanja (kinematika). Podatki obeh sistemov so vhodni podatki v dinamični model gibanja, ki izračuna predvidene sklepne momente in moči med gibanjem. V ta namen so pritiskovne plošče skupaj z optičnim sistemom za zajemanje gibanja mnogokrat del celovitih sistemov za merjenje in analizo hoje na športnem področju in v kliničnem okolju (15).

## MERJENJE IN ANALIZA GIBANJA PRI MODERNIH REHABILITACIJSKIH SISTEMOV

Danes so sistemi za zajemanje in analizo gibanja mnogokrat integralni del modernih rehabilitacijskih sistemov. Mejenje in analiza gibanja poteka v realnem času, glede na izmerjene podatke o gibanju uporabnika pa so zmožni samodejno spreminjati parametre rehabilitacije in delovanje sistema, tako da se težavnost izvajanje nalog prilagaja zmožnostim posameznika. Mnogokrat

je urjenje hoje in ravnotežja podprto z navidezno resničnostjo, ki služi kot medij za posredovanje vizualne povratne informacije uporabniku o njegovem gibanju (npr. kot gibanje avatarja) in za grafično demonstracijo ciljev naloge v navideznem okolju.

### RehaWalk

Sistem RehaWalk (Slika 3) je zasnovan tako za analizo kot tudi za urjenje hoje v okviru nevrološke, ortopedske in geriatrične rehabilitacije in se ga umešča med robotsko podprto in manualno rehabilitacijo hoje (20). Omogoča analizo hoje s časovno sinhroniziranim video snemanjem in merjenjem vertikalnih obremenitev na pohodni površini tekočega traku v realnem času. Vsak trenutek so torej na voljo časovni (čas koraka in dvokoraka, čas trajanja opore in zamaha, trajanja opore in zamaha relativno glede na trajanje cikla hoje, kadenca hoje...) in dolžinski (lokacije dostopov, dolžina in širina korakov) parametri hoje za levo in desno stran. Ker analiza hoje poteka na tekočem traku, je na voljo podatkov o velikem številu podatkov. Trening hoje je kombinacija koordinacijskih in kognitivnih nalog, ko se s pomočjo vidne povratne informacije v navideznem okolju ali s projekcijami zelenih dostopov na pohodno površino uporabniku pokaže zelen vzorec, kateremu naj med hojo čim natančneje sledi. RehaWalk se lahko varno uporablja tudi pri oseb s težjimi omejitvami hoje in že v zgodnjih fazah rehabilitacije saj ima integrirano razbremenitev mase telesa (20).

### Grail

Trenutno najnaprednejši avtomatiziran sistem, ki združuje klinično analizo hoje ter trening hoje in ravnotežja je Grail (Slika 4) (21). Pri sistemu Grail zajemanje podatkov poteka na več med sabo sinhroniziranih sistemih. Z optičnim sistemom in s pripadajočo programsko opremo v realnem času zajema in analizira hojo



Slika 3: RehaWalk – Zebris (18).

Figure 3: RehaWalk – Zebris (18).





Slika 4: GRAIL – Motek (19).

Figure 4: GRAIL – Motek (19).

človeka, računa in analizira sklepne kote in časovne ter dolžinske parametre hoje, izračuna povprečne vrednosti in loči za posamezne cikle hoje. Instrumentacijski tekoči trak, ki ima pohodno površino deljeno v pohodno površino za levo in desno nogo, meri reakcijske sile podlage ločeno za levo in desno nogo. V kombinaciji s kinematiko hoje tako v vsakem koraku poleg kinematike omogoča tudi merjenje kinetike gibanja (sklepnih momentov in moči). Obenem Grail omogoča tudi merjenje mišičnih aktivnosti (EMG) v realnem času in prav tako segmentiranje EMG podatkov glede na cikle hoje. Tekoči trak ima dve prostostni stopnji gibanja – v smeri hoje se lahko nagiba naprej in nazaj, prečno na smer hoje pa se lahko translacijsko pomakne. Na ta način se lahko naslovi mnogo raziskovalnih vprašanj povezanih z ravnotežnimi odzivi med hojo v zahtevnih pogojih ali pa lahko spreminjanje naklona in premikanje pohodne površine postane del rehabilitacije hoje in ravnotežja. Dostop do podatkov o hoji v realnem času in mobilnost tekočega traku je v sistemu Grail združena z navideznim okoljem. Na eni strani uporablja navidezno okolje kot medij za posredovanje vizualne povratne informacije uporabnikovem gibanju kot gibanje avatarja in kot grafični prikaz časovnih potekov izmerjenih podatkov. Na drugi strani se lahko rehabilitacija hoje in ravnotežja oblikuje kot skupek nalog v navideznem okolju, pri čemer se zeleni cilji v smislu gibanja lahko med hojo v navideznem okolju uporabniku grafično demonstrirajo. Ob tem Grail dodatno izkoristi možnost nagibanja in premikanja tekočega traku, da realistično emulira zahtevnost terena v navideznem okolju. Vzpenjanje na hrib ali spuščanje z njega v navideznem okolju lahko Grail ustrezno dopolni z nagibanjem tekočega traku naprej in nazaj ter na tak način vzpostavi pogoje s katerimi bi se uporabnik sicer soočil v naravi pri vzpenjanju na hrib ali spustu z njega. Podobno se lahko v navideznem okolju sprehaja po spolzki podlagi, lateralni pomik tekočega traku pa vzpostavi pogoje kot pri zdrsu na poledenem pločniku (21).

## ZAKLJUČEK

Sodobne metode merjenja gibanja predstavljajo temelj analize gibanja na mnogih raziskovalnih področjih, v kliničnem okolju, v rehabilitaciji, na področju športa in v zabavni industriji. Predvsem v klinični kineziologiji merjenje gibanje pogosto ni omejeno le na kinematiko gibanja ampak združuje še kinetiko gibanja torej sile

kot vzrok gibanja. Pri razvoju sodobnih sistemov za merjenje gibanja se upoštevajo potrebe po čim krajših meritvah, brezkontaktnem merjenju gibanja v realnem času in brez dodatnega opremljanja oseb z merilnimi pripomočki. Danes je merjenje gibanja že temelj sodobnih rehabilitacijskih naprav in rehabilitacijskih metod, kjer merjenje gibanja v realnem času neposredno vpliva na prilagajanje ciljev nalog med rehabilitacijo gibanja zmožnostim posameznika.

## Literatura:

1. Abu-Faraj ZO, Harris GF, Smith PA, Hassani S. Human gait and clinical movement analysis. In: Webster JG, ed. Wiley encyclopedia of electrical and electronics engineering. 2nd ed. Chichester: Wiley; 2015: 1–34.
2. Johanson ME. Gait laboratory: structure and data gathering. In: Rose J, Gamble JG, eds. Human walking. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1994: 201–24.
3. Schwartz RP, Heath AL. The pneumographic method of recording gait. J Bone Joint Surg. 1932;14(4):783–94.
4. Basmajian JV. Therapeutic exercise. 3rd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1978:1, 3, 5.
5. Marey ÉJ. La méthode graphique dans les sciences expérimentales. Paris: G. Masson; 1885.
6. Muybridge E. The human figure in motion. New York: Dover; 1955.
7. Dec JB, Saunders M, Inman VT, Eberhart HD. The major determinants in normal and pathological gait. J Bone Joint Surg. 1953;35A(3):543–58.
8. Blanc Y, Dimanico U. History of the study of skeletal muscle function with emphasis on kinesiological electromyography. Open Rehabil J. 2010;3(1):84–93.
9. Perry J. Gait analysis: normal and pathological function. Thorofare: SLACK Incorporated; 1992.
10. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. 3rd ed. New Jersey: Wiley; 2005.
11. Gage JR. Gait analysis in cerebral palsy. London: Mac Keith Press; 1991.
12. Goniometers. Dostopno na: <https://www.biometricsltd.com/goniometer.htm> (citirano 8. 2. 2022).
13. MTi-100 IMU. XSENS. Dostopno na: <https://www.xsens.com/mti-100> (citirano 8. 2. 2022).
14. Motion Capture. Xsens. Dostopno na: <https://www.xsens.com/motion-capture> (citirano 8. 2. 2022).
15. Gait analysis, neuroscience and motor control. Vicon. Dostopno na: <https://www.vicon.com/applications/life-sciences/gait-analysis-neuroscience-and-motor-control/> (citirano 8. 2. 2022).
16. Templo 3D markerless motion analysis with THEIA3D. Contemplas. <https://contemplas.com/en/motion-analysis/3d-analysis/> (citirano 8. 2. 2022).
17. Wearable FSR sensor: flexible gait analysis piezoresistive insole force sensitive resistor. FSRTEK. Dostopno na: <https://www.fsrtek.com/flexible-gait-analysis-piezoresistive-insole-force-sensitive-resistor> (citirano 8. 2. 2022).
18. GAITRite walkways: a system for every need. Dostopno na: <https://www.gaitrite.com/gait-analysis-walkways> (citirano 8. 2. 2022).

19. Force and motion: biomechanics overview. Dostopno na: <https://www.amti.biz/Kinesiology-Biomechanics-forceplatform-overview.aspx> (citirano 8. 2. 2022).
20. RehaWalk gait analysis and training in rehabilitation. Zebris. Dostopno na: <https://www.zebris.de/en/medical/rehawalkr-gait-analysis-and-training-in-rehabilitation> (citirano 8. 2. 2022).
21. GRAIL: the ultimate gait-lab solution. Motek. Dostopno na: <https://www.motekmedical.com/solution/grail/> (citirano 8. 2. 2022).

# OCENJEVANJE IN URJENJE DINAMIČNEGA RAVNOTEŽJA PRI ZELO POČASNI HOJI Z UPORABO REHABILITACIJSKEGA ROBOTA ASSESSMENT AND TRAINING OF DYNAMIC BALANCING DURING VERY SLOW WALKING USING A REHABILITATION ROBOT

dr. Matjaž Zadravec, univ. dipl. inž. el., doc. dr. Andrej Olenšek, univ. dipl. inž. el.,  
prof. dr. Zlatko Matjačić, univ. dipl. inž. el.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

## Povzetek

Predstavljamo metode in ugotovitve ocenjevanja in urjenja dinamičnega ravnotežja z uporabo zunanjih motenj s strani rehabilitacijskega robota pri počasni hoji po tekalni stezi pri zdravih osebah in osebah z okvarami gibalnega sistema. Ravnotežni odzivi po motilnih sunkih sile, ki delujejo medialno na medenico človeka (*angl.* inward perturbation), se pri različnih hitrostih hoje ne razlikujejo med seboj in so sestavljeni pretežno iz postavitve naslednjega koraka v smer delovanja motilnega sunka. Pri motilnih sunkih, ki delujejo lateralno na medenico (*angl.* outward perturbation), pa se ravnotežni odzivi razlikujejo. Pri zelo počasni hoji je ustrezna modulacija reakcijske sile podlage in njenega prijemališča (*angl.* center-of-pressure) pod stojno nogo ključna za zagotavljanje učinkovitega ravnotežnega odziva. Precejšnje število preiskovancev po preboleli možganski kapi ali po transtibialni amputaciji se tako ne more odzivati, kar povzroči, da se z motilnim sunkom spopadejo z naslednjim korakom neprizadete noge, zaradi česar so njihovi odzivi bistveno manj učinkoviti. Urjenje dinamičnega ravnotežja z motilnimi sunki sile skozi daljše obdobje rehabilitacije lahko bistveno pripomore k okrevanju.

## Ključne besede:

ocenjevanje ravnotežja; urjenje ravnotežja; hoja z uporabo motilnih sunkov; rehabilitacijska robotika; ravnotežni odzivi; možganska kap; transtibialna amputacija

## Abstract

*Methods and findings of perturbation-based assessment and training of dynamic balancing responses during slow treadmill walking in healthy and impaired subjects are presented. Responses following inward pushes to the pelvis do not differ across walking speeds and consist predominantly from placing an ensuing step into the direction of the perturbing push. Responses to outward pushes differ considerably. At very low walking speed, adequate modulation of centre-of-pressure and ground reaction force under the stance leg are the core of an efficient response. A substantial number of people after stroke or transtibial amputation are not able to respond in the described way and need to negotiate perturbations only when they enter the stance with their unimpaired limb, thus making their responses inefficient. Prolonged perturbation-based training in post-stroke patients may substantially improve recovery of dynamic balancing responses.*

## Key words:

*balance assessment; balance training; perturbed walking; rehabilitation robotics; dynamic balance responses; stroke; transtibial amputation*

## IZHODIŠČA

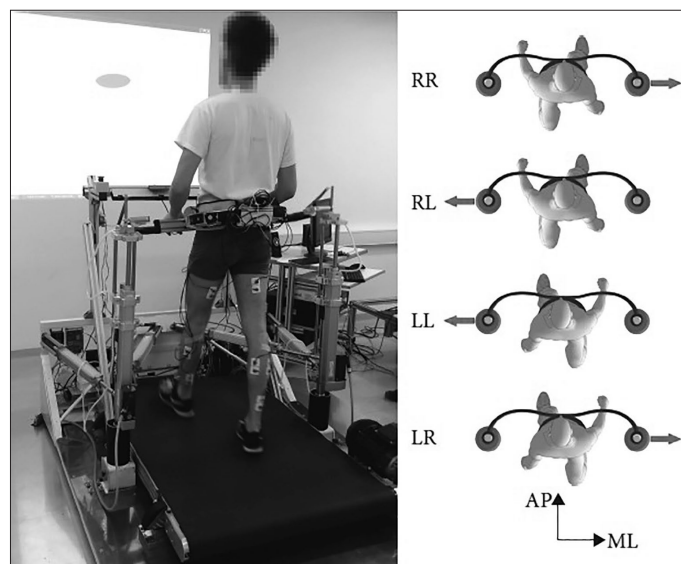
Številne raziskave so se v zadnjih letih ukvarjale z vprašanjem, kako se ljudje odzivajo na nepričakovane motnje med hojo (1, 2) in hojo (3). Za stabilno hojo so bistvenega pomena ustrezni odzivi na nepričakovane motnje, še posebej tiste, ki delujejo v mediolateralni ravnini. Večino raziskav, v katerih so preučevali dinamične odzive ravnotežja po motilnih dogodkih (zdrs, spotik ali zunanji sunek sile), so naredili pri normalni hitrosti hoje. Rezultati kažejo, da je po motečem zdrs ali potisku postavitev noge na novo lokacijo prevladujoča strategija vzdrževanja ravnotežja – splošno imenovana »strategija koraka« (*angl.* stepping strategy). Raziskave so tudi pokazale, da se ravnotežne reakcije po motnji začnejo dogajati že prej, in sicer v obliki premika točke prijemališča reakcijske sile podlage pod stojno nogo v smeri delovanja motnje, kar je splošno poimenovano »strategija gležnja« (*angl.* ankle strategy) (4). Tretja strategija, imenovana »inercialna strategija« ali »strategija kolka« (*angl.* inertial, hip strategy), pa je povezana z vrtenjem segmentov (5), kot na primer vrtenje trupa, premiki rok in nog, kar pogosto opazimo pri hoji po ozki gredi. V raziskavah, v katerih so preiskovali ravnotežne odzive po zunanjih motnjah zmernih jakosti, ki so na predel medenice delovale v mediolateralni ravnini, ter pri hitrosti hoje med 0,8 in 1,2 m/s, niso beležili opaznih gibov zgornjih in spodnjih udov ali trupa. V strokovni literaturi je malo znanega o organizaciji odzivov ter njihovih vplivov na dinamično ravnotežje pri zelo nizkih hitrostih hoje (od 0,4 do 0,8 m/s), ki so značilni za starostnike in osebe z nevrološkimi okvarami. Poleg tega je hoja pri majhnih hitrostih še toliko zahtevnejša v primerjavi z višjimi hitrostmi, učinkovito ravnotežno reakcijo po zunanji motnji pa je treba izvajati še pred izvedbo naslednjega koraka, torej z uporabo strategije »gležnja« in »kolka«. Razumevanje biomehanike dinamičnega ravnotežja po nastopu zunanje motnje pri zelo majhnih hitrostih hoje nam lahko pomaga bolje razumeti ravnotežne težave bolnikov in lahko dodatno usmerja razvoj učinkovitih rehabilitacijskih programov.

V prispevku predstavljamo pregled naših nedavnih raziskav o ocenjevanju odzivov dinamičnega ravnotežja pri zdravih osebah ter osebah po možganski kapi in osebah po transtibialni amputaciji. Predstavljamo tudi izsledke raziskav, v katerih smo uporabili robotizirano vadbo z motilnimi sunki sile na medenico pri posameznikih po možganski kapi.

## METODE

### Robot za ocenjevanje in urjenje dinamičnega ravnotežja med hojo

Na sliki 1 je prikazana fotografija eksperimentalnega okolja, ki ga sestavlja robot za ocenjevanje ravnotežja (*angl.* Balance assessment robot for treadmill walking – BART) in tekalna steza, ki meri reakcijske sile podlage, na desni pa je ponazorjeno delovanje mediolateralnih sunkov sil, ki jih robot ob dostopih leve oziroma desne noge prek medenične objemke prenese na človeka. V nadaljevanju je podan le kratek opis eksperimentalne postavitve, podrobnejši opis pa je na voljo v strokovni literaturi (6, 7). Sistem



**Slika 1:** Eksperimentalno okolje s sistemom BART inter prikaz delovanja mediolateralnih sunkov sil s strani robota.

**Figure 1:** A photograph of BART haptic robot along with the schematics of inward and outward perturbation events.

BART prek tako imenovane medenične objemke zaobjame človekovo medenico ter zagotavlja prosto gibanje medenice v šestih stopnjah prostosti (*angl.* degrees of freedom – DOF), pri čemer je pet stopenj prostosti (premik medenice v sagitalni, frontalni in transverzalni ravnini ter njena rotacija okoli navpične in prečne osi) robotiziranih in omogoča transparentno haptično interakcijo z zanemarljivo majhnim vplivom na hojo preiskovanca (7). Preostala stopnja prostosti (rotacija medenice okoli prečne osi) pa je pasivna. Robot BART zagotavlja proženje motilnih sunkov na medenico v katerikoli smeri v transverzalni ravnini, v tej raziskavi pa poročamo o rezultatih, kjer so bili uporabljeni motilni sunki v frontalni ravnini, torej medialni sunki sile (proženje motilnega sunka ob dostopu leve noge v desno – LR ali proženje motilnega sunka ob dostopu desne noge v levo – RL) in lateralni sunki sile (proženje motilnega sunka ob dostopu leve noge v levo – LL ali proženje motilnega sunka ob dostopu desne noge v desno – RR) (7). Opisane motnje so grafično prikazane na sliki 1 desno.

## REZULTATI

### Ocenjevanje dinamičnega ravnotežja pri zdravih osebah

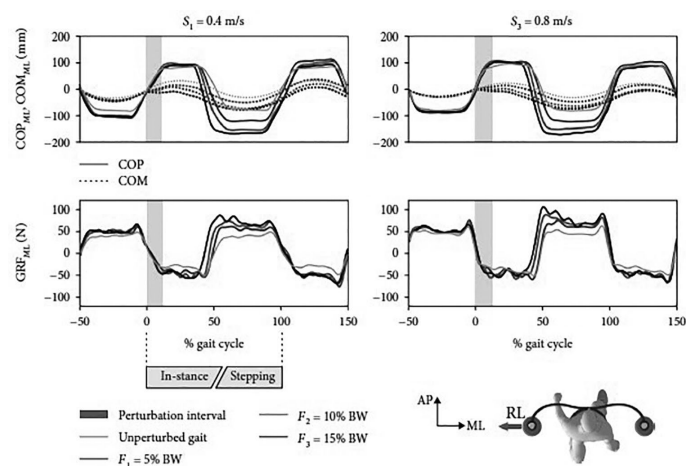
Izvedli smo več raziskav, pri katerih smo prožili motilne sunke sil na medenico v frontalni ravnini pri zdravih osebah, ki so hodile po tekalni stezi, pri čemer smo spreminjali dva eksperimentalna parametra: hitrost hoje in jakost motilnega sunka (5, 7, 8). Slika 2 prikazuje biomehanske odzive preiskovanca po proženju medialnih sunkov na medenico pri hitrostih hoje 0,4 in 0,8 m/s, kjer je dosledno uporabljena strategija »koraka«, s čimer se skrajša faza opore na nogi, kjer je bil prožen sunek, temu pa sledi hiter prehod v fazo dvojne opore z bistveno širšim korakom kot v primeru normalne hoje. Iz centra prijemališča reakcijske sile podlage (*angl.* center-of-pressure, COP) je opaziti, da se z večanjem



amplitude sunka sile COP premakne bolj lateralno, kar pomeni proporcionalno širjenje koraka. Po drugi strani pa lateralni sunki na medenico izzovejo povsem drugačne biomehanske reakcije, ki so po naravi bolj kompleksne. Slika 3 prikazuje težišče telesa (*angl.* center-of-mass, COM), COP in reakcijske sile podlage (*angl.* ground reaction force, GRF) odzive na lateralne sunke v enaki postavitvi kot slika 2. Pri hitrosti hoje 0,4 m/s in proženju motilnega sunka ob 0 odstotka cikla hoje je opaziti lateralne premike COP že na stojni nogi (od 0 do 50 odstotkov cikla hoje), ki so posledica strategije »gležnja«, ter impulzni GRF odziv frontalni ravnini (od 10 do 20 odstotkov cikla hoje), ki pa so posledica strategije »kolka«. Pri hitrosti hoje 0,8 m/s zdrave osebe že uporabijo strategijo »koraka«, saj za hipne spremembe pod stojno nogo takoj po nastopu motilnega sunka ni več dovolj razpoložljivega časa za strategijo »kolka«, poleg tega pa se pri višji hitrosti podaljša in zoži korakanje, kar zmanjša dinamično stabilnost v frontalni ravnini. Strategija »koraka« je razvidna iz spremenjene lokacije COP naslednjega koraka (od 50 do 100 odstotkov cikla hoje), v prvem delu cikla hoje (od 0 do 50 odstotkov) pa je razvidna tudi strategija »gležnja«.

## Ocenjevanje dinamičnega ravnotežja pri bolnikih

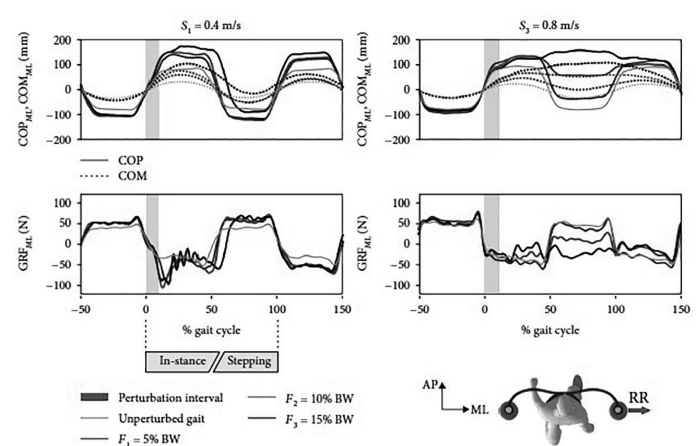
V nedavni raziskavi (9) je sodelovalo 41 bolnikov po možganski kapi (hemipareza) in 43 zdravih oseb. Ocenjevali smo dinamično ravnotežje po zunanjih motnjah v frontalni ravnini (tj. lateralne in medialne motnje), ki so bile prožene ob dostopu leve ali desne pete, udeleženci so hodili po tekalni stezi z zelo nizko hitrostjo 0,4 m/s. Slika 4 prikazuje COP, COM in GRF dinamiko po pro-



**Slika 2:** Odzivi na medialne motilne sunke, prožene ob dostopu desne noge. Zgornji grafi prikazujejo gibanje masnega središča človeka (*angl.* center of mass – COM), reakcijske sile podlage (*angl.* ground reaction force – GRF) in njenega prijemališča (*angl.* center of pressure – COP) v obdobju dveh ciklov hoje s proženjem motilnega sunka pri 0 % cikla hoje (dostop desne noge) s tremi amplitudami sile: 5 %, 10 % in 15 % glede na težo posameznika.

**Figure 2:** Responses to inward perturbations directed to the left side at the moment of right foot contact. Medio-lateral components of center-of-mass (COM), center-of-pressure (COP) and ground reaction force (GRF) are shown for one and a half gait cycle following the application of perturbing push (with the strength of 5%, 10% and 15% of body weight).

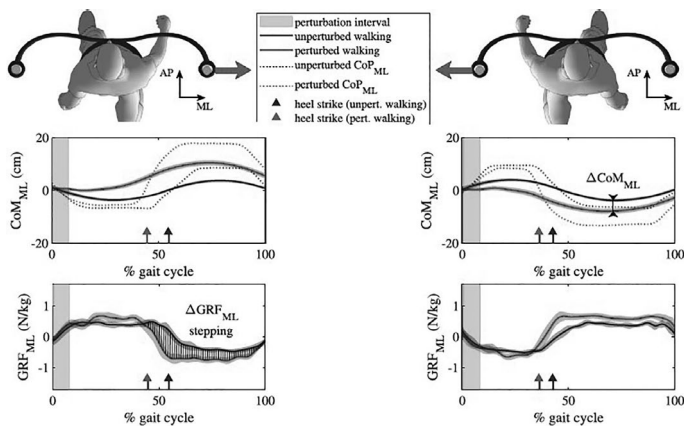
ženi medialni zunanji motnji, slika 5 pa iste signale po proženi lateralni zunanji motnji. Z odzivi zdravih preiskovancev smo dobili normativne vrednosti, s katerim smo lahko razvrstili odzive bolnikov po možganski kapi v dve podskupini, in sicer tiste znotraj normativnih vrednosti in tiste zunaj normativnih vrednosti. Bolniki po možganski kapi, ki so bili znotraj normativnih vrednosti, so se po proženih motnjah lahko ustrezno odzvali, kar se je videlo v zadostni modulaciji COP in GRF pod stojno nogo tako neprizadete kot tudi prizadete strani, medtem ko se je pri skupini izven normativnih vrednosti pokazalo, da modulacija COP in GRF po lateralni motnji, proženi ob dostopu prizadete noge, ni bila zadostna. V tem primeru so bolniki namesto strategije »kolka« in strategije »gležnja« konsistentno uporabili strategijo »koraka«, pri čemer je v naslednjem koraku po proženi lateralni motnji prišlo do precejšnje zožitve koraka z nepoškodovano nogo ali pa celo do križanja obeh nog. V podskupini zunaj normativnih vrednosti so bili posledično veliki premiki težišča telesa (COM) v primerjavi s podskupino bolnikov po možganski kapi znotraj normativnih vrednosti. Odzivi na medialne motnje se pri obeh podskupinah niso bistveno razlikovali. V naslednji raziskavi smo raziskovali pomen strategije »gležnja« na ravnotežne odzive med počasno hojo pri 0,5 m/s, kjer je sodelovalo 15 oseb s transtibialno protezo (10). Raziskava je pokazala, da ima pri lateralnih motilnih sunkih v predel medenice ravnotežni odziv popolno odsotnost modulacije COP in GRF pod stojno nogo s protezo. Tako se pri lateralni motnji, proženi ob dostopu noge s protezo, pojavi velika lateralni odklon težišča telesa, kar – podobno kot pri bolnikih po možganski kapi – privede do zoženja naslednjega koraka ali celo do križanja nog. Proženje lateralne motnje na neamputirani nogi pa je bilo



**Slika 3:** Odzivi na lateralne motilne sunke, prožene ob dostopu desne noge. Zgornji grafi prikazujejo gibanje masnega središča človeka (*angl.* center of mass – COM), reakcijske sile podlage (*angl.* ground reaction force – GRF) in njenega prijemališča (*angl.* center of pressure – COP) v obdobju dveh ciklov hoje s proženjem motilnega sunka pri 0 % cikla hoje (dostop desne noge) s tremi amplitudami sile: 5 %, 10 % in 15 % glede na težo posameznika.

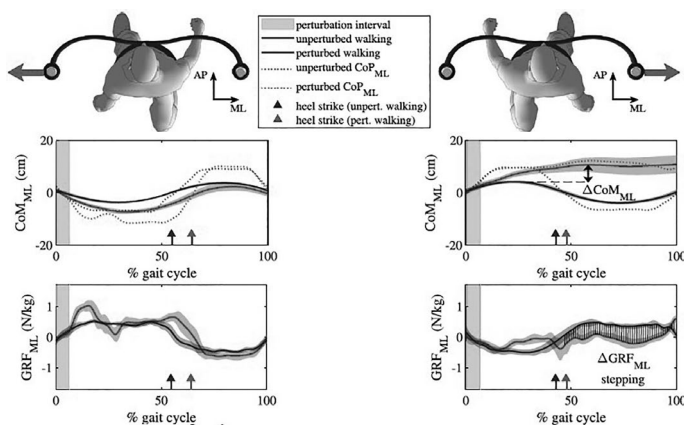
**Figure 3:** Responses to outward perturbations directed to the right side at the moment of right foot contact. Medio-lateral components of COM, COP and GRF are shown for one and a half gait cycle following the application of perturbing push (with the strength of 5%, 10% and 15% of body weight).

podobno kot v normativnih vrednostih oziroma primeru zdrave osebe s slike 3. Slika 6 prikazuje skupinsko povprečje ravnotežnih odzivov 15 oseb s transtibialno amputacijo na lateralne motnje na medenico, prožene ob dostopu neamputirane noge (grafi levo) in noge s protezo (grafi desno). Rezultati te raziskave kažejo, da je odsotnost zmožnosti modulacije COP tesno povezana z uporabo strategije »kolka«. Skupina preiskovancev po transtibialni amputaciji (v primerjavi z osebami po možganski kapi) sicer ima kapacitete v abduktorjih kolka, ki so potrebne za izvajanje strategije »kolka«, vendar pa so preiskovanci raje uporabili manj učinkovito strategijo dinamičnega odziva – strategijo »koraka«. Eden od razlogov za tak odziv je tudi popolna nezmožnost izvedbe strategije »gležnja«, strategija »kolka« pa sama po sebi pri večjih amplitudah sunka sile ne zadostuje.



**Slika 4:** Primer odzivov pri bolniku s hemiparezo iz podskupine zunaj normativa na medialno zunanjo motnjo, ki se proži ob dostopu nepoškodovane noge (levo) in poškodovane noge (desno).

**Figure 4:** An example of responses in a representative post-stroke subject from “outside” subgroup to inward perturbation commencing at non-impaired (left) and impaired (right) leg.



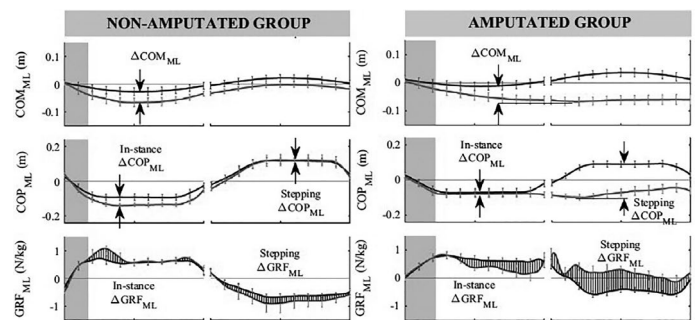
**Slika 5:** Primer odzivov pri bolniku s hemiparezo iz podskupine zunaj normativa na lateralno zunanjo motnjo, ki se proži ob dostopu nepoškodovane noge (levo) in poškodovane noge (desno). Odziv na levih dveh grafih je podoben kot odziv zdrave populacije s slike 3.

**Figure 5:** An example of responses in a representative example of a post stroke subject from “outside” subgroup to outward perturbation commencing at non-impaired (left side) and impaired (right side) leg. Note that the response on the left side is similar to responses of a healthy subject shown in Figure 3.

## Urjenje dinamičnega ravnotežja z uporabo zunanjih motenj

Na podlagi ravnotežnih pomanjkljivosti, ki smo jih analizirali pri osebah po možganski kapi ter pri osebah po transtibialni amputaciji, smo razvili pristop urjenja dinamičnega ravnotežja z uporabo zunanjih motenj (11), kar smo nadalje uporabili za številne izbrane osebe po možganski kapi. Shemo urjenja dinamičnega ravnotežja z rehabilitacijskim robotom BART prikazuje slika 7.

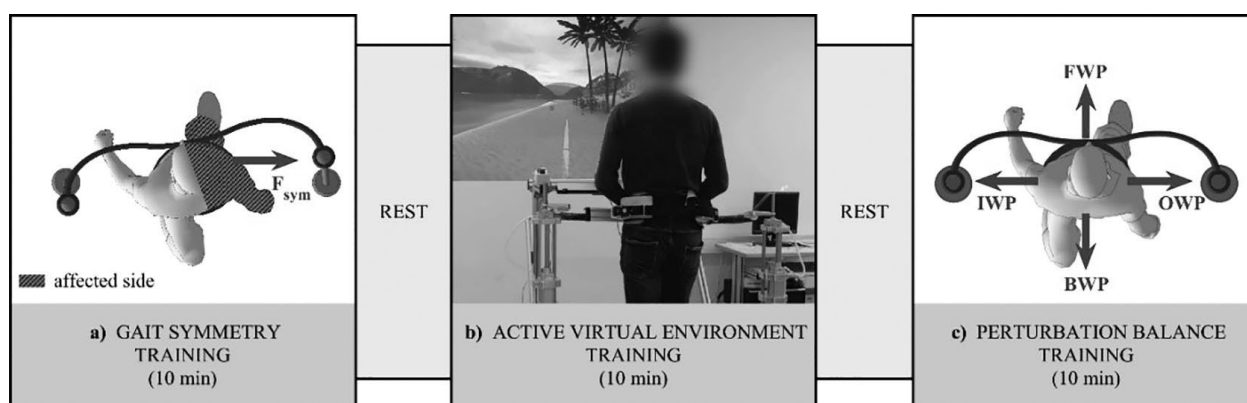
Rezultati dlje trajajočega urjenja z individualiziranim programom, večjo intenziteto ter večjim obsegom motilnih sunkov so pokazali, da je mogoče izboljšati sposobnosti dinamičnega ravnotežja. Slika 8 prikazuje rezultate za primer bolnika po možganski kapi, pri katerem je vidno postopno izboljšanje dinamičnega ravnotežja po proženih lateralnih motilnih sunkih. Pred začetkom urjenja dinamičnega ravnotežja se je oseba pretežno odzivala z uporabo strategije »koraka«, vendar pa je po 60 polurnih seansah s protokolom, prikazanim na sliki 7, lahko prešla na strategijo vzdrževanja dinamičnega ravnotežja, ki je značilno za zdravo populacijo, tj. strategija »gležnja« in »kolka«. Tako se je bistveno izboljšala učinkovitost odziva, ki se kaže predvsem v manjšem odmiku težišča telesa (12).



**Slika 6:** Skupinsko povprečje odzivov oseb s trans-tibialno amputacijo na lateralne motnje na medenico, prožene ob dostopu neamputirane noge (grafi levo) in ob dostopu noge s protezo (grafi desno). Odziv na grafih na levi strani slike je podoben odzivu zdrave populacije s slike 3, medtem ko je odziv na grafih na desni strani slike pa je podoben odzivu osebe po preboleli možganski kapi s slike 5 desno.

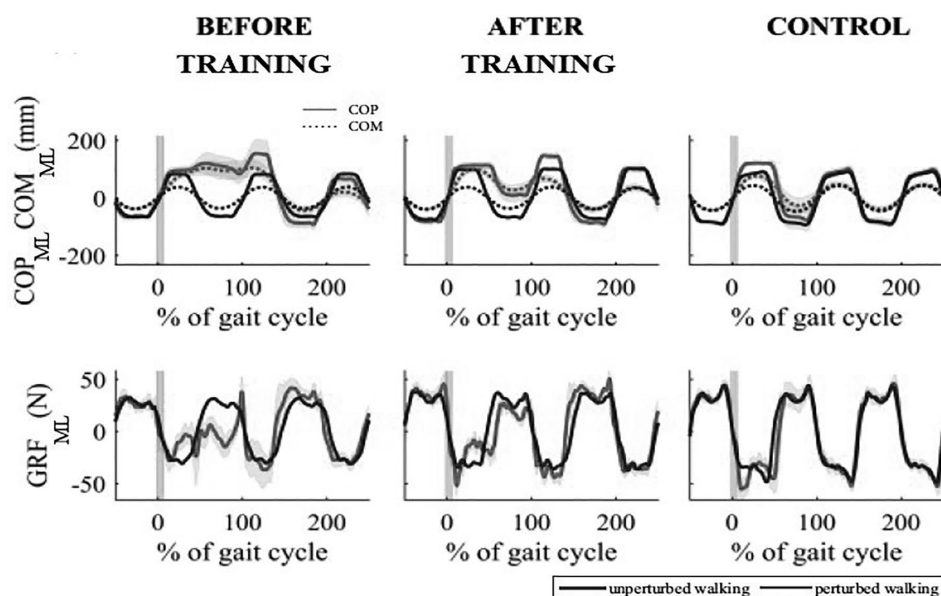
**Figure 6:** Group-averaged responses in fifteen subjects with trans-tibial amputation to outward perturbation commencing at heel strike of non-amputated limb (left) and at heel strike of amputated (right) leg. Note that the responses on the left are similar to responses of a healthy subject shown in Figure 3 while the responses on the right are similar to responses of a post-stroke subject in Figure 5 (right).





**Slika 7:** Shema urjenja dinamičnega ravnotežja z rehabilitacijskim robotom BART: a) nizko-amplitudni lateralni potiski proti prizadeti strani, kar izboljšuje simetrijo hoje, b) hoja v virtualnem okolju, pri čemer robot BART na telo človeka vpliva s silo, ki je povezana z virtualnim okoljem (hoja navzdol, v klanec, v ovinek), in c) uporaba naključno izbranih sunkov sil z različno intenziteto in smerjo, ki zahteva ustrezne ravnotežne odgovore.

**Figure 7:** An illustration of perturbation-based balance training on a treadmill consisting of a.) gentle pushes toward the impaired side facilitating walking symmetry, b.) walking in a virtual environment while BART produced haptic forces consistent with the scenery shown and c.) application of perturbations in the transverse plane requiring appropriate responses.



**Slika 8:** Odzivi na lateralne sunkove sile, prožene ob dostopu prizadete noge, pred in po obdobju urjenja dinamičnega ravnotežja in po njem pri osebi po kapi, ter odzivi zdrave osebe.

**Figure 8:** Responses to outward perturbations commencing at the heel strike of the impaired leg before and after perturbation-based balance training for a post-stroke subject and control responses assessed in a healthy subject.

## ZAKLJUČKI

Izsledki naših raziskav pri zdravi populaciji so pokazali na specifičnost delovanja človekovega gibalnega sistema, ki omogoča ustrezen reaktivni ravnotežni odziv po nastopu zunanjega motilnega sunka v predelu pasu pri zelo majhnih hitrostih hoje. Ravnotežni odzivi na medialne motnje pretežno izzovejo strategijo »koraka« pri vseh hitrostih počasne hoje ter pri vseh amplitudah motilnih sunkov. Odzivi na lateralne zunanje motnje pa so močno odvisni od hitrosti hoje ter amplitud motilnih sunkov. Pri zelo počasni hoji in nizki amplitudi sunka sile se pokažeta strategija »kolka« in »gležnja« kot dominantni strategiji, pri hitrejši hoji in

večji amplitudi sunka sile pa prevladuje strategija »koraka«. Med tema dvema ekstremoma se pokaže sinergija delovanja vseh treh strategij dinamičnega odziva, pri čemer je delež vsake strategije odvisen od hitrosti hoje in amplitude zunanje motnje. Znatno število oseb po možganski kapi, pa tudi oseb s transtibialno protezo iz naših raziskav, ki so visoko funkcionalne ter lahko samostojno hodijo, je imelo zmanjšane sposobnosti za izvajanje ustreznih ravnotežnih odzivov na zunanje motnje, ki so bile prožene na prizadeti strani. Pri osebah po transtibialni amputaciji smo strategije ravnotežnih odzivov do zdaj ocenjevali le znotraj ene seanse, medtem ko smo jih pri osebah po možganski kapi spremljali tudi skozi daljše obdobje rehabilitacije. Naše raziskave, ki obravnavajo

urjenje dinamičnega ravnotežja z uporabo zunanjih motenj skozi daljše obdobje rehabilitacije, so pokazale, da je mogoče pri osebah po možganski kapi vplivati na organizacijo ravnotežnih odzivov, kar pa je tudi odvisno od rehabilitacijskega in možganskega plastičnega potenciala vsakega posameznika.

#### Literatura:

1. Popović D, Sinkjær T. Control of movement for the physically disabled. 2nd ed. Aalborg: University, Department of Health Science and Technology, Center for Sensory-Motor Interaction; 2003.
2. Matjačić Z, Voigt M, Popović DB, Sinkjaer T. Functional postural responses after perturbations in multiple directions in a standing man: a principle of decoupled control. *J Biomech.* 2001;34(2):187–96.
3. Buijn SM, Van Dieën JH. Control of human gait stability through foot placement. *J R Soc Interface.* 2018;15(143):20170816.
4. Hof AL, Duysens J. Responses of human ankle muscles to mediolateral balance perturbations during walking. *Hum Mov Sci.* 2017;57:69–82.
5. Matjačić Z, Zadravec M, Olenšek A. Biomechanics of in-stance balancing responses following outward-directed perturbation to the pelvis during very slow treadmill walking show complex and well-orchestrated reaction of central nervous system. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020;8:884.
6. Olenšek A, Zadravec M, Matjačić Z. A novel robot for imposing perturbations during overground walking: Mechanism, control and normative stepping responses. *J Neuroeng Rehabil.* 2016;13(1):55.
7. Matjačić Z, Zadravec M, Olenšek A. An effective balancing response to lateral perturbations at pelvis level during slow walking requires control in all three planes of motion. *J Biomech.* 2017;60:79–90.
8. Matjačić Z, Zadravec M, Olenšek A. Influence of treadmill speed and perturbation intensity on selection of balancing strategies during slow walking perturbed in the frontal plane. *Appl Bionics Biomech.* 2019;1046459.
9. Zadravec M, Olenšek A, Rudolf M, Bizovičar N, Goljar N, Matjačić Z. Assessment of dynamic balancing responses following perturbations during slow walking in relation to clinical outcome measures for high-functioning post-stroke subjects. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):85.
10. Olenšek A, Zadravec M, Burger H, Matjačić Z. Dynamic balancing responses in unilateral transtibial amputees following outward-directed perturbations during slow treadmill walking differ considerably for amputated and non-amputated side. *J Neuroeng Rehabil.* 2021;18(1):123.
11. Matjačić Z, Zadravec M, Olenšek A. Feasibility of robot-based perturbed-balance training during treadmill walking in a high-functioning chronic stroke subject: a case-control study. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15(1):32.
12. Zadravec M, Olenšek A, Rudolf M, Bizovičar N, Goljar N, Matjačić Z. Toward improving the specificity of perturbation-based training through assessment of dynamic balancing responses: A series of N-of-1 studies in subacute stroke. *Int J Rehabil Res.* 2021; 44(3):276–81.

# WEARABLE UPPER-LIMB EXOSKELETONS

## PASIVNI NOSLJIVI EKSOSKELETI ZA ZGORNJE UDE

Lorenzo Grazi, Emilio Trigili, Simona Crea, Nicola Vitiello

Wearable Robotics Laboratory, The BioRobotics Institute, Scuola Superiore Sant'Anna, Pontedera, Pisa, Italy

### Abstract

Exoskeletons are wearable robots aimed at working in close connection to bodily structures for rehabilitation, augmentation or assistance of human motor functions. One of the main challenges of wearable robotics is the effective achievement of human-robot symbiosis. Exoskeletons can be classified either by the type of actuation used (active, passive, and semi-active devices) or the supported body parts (lower- and upper-limb exoskeletons). Use-case scenarios for the application of wearable upper-limb exoskeletons are many, including clinical rehabilitation (rehabilitation scenario) and assistance in activities of daily living and in working environments (occupational scenario).

### Key words:

exoskeletons; wearable robotics; classifications; usage scenarios; overview

### Povzetek

*Eksoskeleti so nosljivi roboti, namenjeni za delovanje v tesni povezavi s telesnimi strukturami za potrebe rehabilitacije, obogatitve ali pomoči človekovim gibalnim funkcijam. Eden od glavnih izzivov nosljive robotike je doseči učinkovito simbiozo človeka in robota. Eksoskelete lahko razvrstimo glede na vrsto pogona (aktivne, pasivne in polaktivne naprave) in del telesa, ki ga podpirajo (eksoskeleti za spodnje in zgornje ude). Obstajajo številne možnosti uporabe nosljivih eksoskeletov za zgornje ude, vključno s klinično rehabilitacijo (rehabilitacijski scenarij) ter pomočjo pri dnevni aktivnosti in v delovnem okolju (zaposlitveni scenarij).*

### Ključne besede:

*eksoskeleti; nosljiva robotika; razvrstitve; možnosti uporabe; pregled*

## INTRODUCTION

Exoskeletons are wearable robots aimed at working in close connection to bodily structures for rehabilitation, augmentation or assistance of human motor functions. To target these goals, an exoskeleton must be enabled with features to mimic the natural behavior of the human body and operate in perfect synergy with it. This close interaction is shared between physical and cognitive levels (1): the former consists of the physical coupling between the human and the robot, involving a flux of mechanical power between them; the latter concerns the exchange of information related to movement intentions. One of the main challenges related to wearable robotics is the effective achievement of the so-called *human-robot symbiosis*.

Exoskeletons can be classified either by the type of actuation used or the supported body parts.

As far as actuation is concerned, they can be classified in active, passive, and semi-active devices. On the one hand, active exoskeletons comprise powered actuators injecting mechanical power to the human limbs, and sensors to monitor human joint movements. These actuators can be electric motors, as well as hydraulic and pneumatic actuators or a combination of them (2). On the other hand, strictly passive exoskeletons are devices based on elastic or viscoelastic materials, like springs or dampers, that store the mechanical energy generated by specific movements to release it to support or assist a desired posture or movement (3). Both actuation paradigms carry advantages and disadvantages. Due to the absence of motors, passive devices are typically much lighter than their active counterparts; additionally, they have reduced encumbrance, high portability, and do not require any type of power supply to be used. Active devices, using motors, need electronics and power supply (either batteries or mains power supply) to operate, being consequently heavier, bulkier,

and less portable. On the other hand, active exoskeletons can deliver higher and can generate more versatile assistive profiles. However, control algorithms and strategies are needed to decode user's movement intention to timely and effectively provide the assistance (4). Finally, *semi-active* exoskeletons represent a trade-off between the large adaptability of active devices and the greater usability of the passive ones: they use low-power servomotors to adapt the behavior of the device based on the user's needs, for example, by adapting the level of assistance or engaging/disengaging the actuation mechanisms (5).

As far as the classification according to the body segment a wearable robot is designed to support, they can be typically classified in lower- and upper-limb exoskeletons. *Lower-limb* exoskeletons target a population of users with gait impairments of different severity, such as amputees, people with muscles weakness, people who suffered a stroke, spinal cord injured patients, elderly with reduced mobility. The target population of *upper-limb* exoskeletons, instead, includes patients needing physical rehabilitation after suffering from a stroke or people who needs daily-life assistance after losing movements capabilities caused by a spinal cord injury. Over the last years, upper-limb exoskeletons have also been targeted towards occupational applications, such as in car assembly plants and manufacturing shopfloors, aiming at reducing the incidence of work-related musculoskeletal disorders (WMSDs).

### Use-case scenarios for wearable upper-limb exoskeletons

Use-case scenarios for the application of wearable upper-limb exoskeletons are many, including both clinical rehabilitation and assistance in activities of daily living and in working environments.

#### Rehabilitation scenario

Robotic rehabilitation through upper-limb exoskeletons typically aims at restoring or improving the sensorimotor capabilities of people with different levels of neurological or physical impairments affecting the upper extremities. This sensorimotor training has the objective of reinforcing muscles and increasing the range of movement. Thanks to their high movement repeatability, exoskeletons can assist patients in performing intensive, repetitive and goal-oriented movements, also intensifying the frequency of the training. In exoskeleton-mediated physical rehabilitation, two main rehabilitation paradigms can be exploited, based on the severity of the impairment: *robot-in-charge* and *patient-in-charge* (6). In the case of patients with severe upper limb impairments (e.g., severe muscles weakness due to a stroke) the robot-in-charge paradigm is applied: the exoskeleton is controlled in a way that it forces the patient's limb to move along pre-determined path, allowing for a full passive mobilization of the limb to achieve basic motor tasks. Conversely, in the case of patients who retain a certain degree of residual movement capabilities, the patient-in-charge paradigm is adopted: the exoskeleton partially assists the patient in performing basic movements only when he/she cannot

accomplish it only by him/herself, by exploiting the so-called *assistance-as-needed* strategy.

In addition to the high precision and repeatability of exoskeleton-mediated rehabilitation, such devices also offer the possibility to precisely measure movement parameters (e.g., angles, speed, torques) which can be used to monitor patients recovery along the training sessions. In this way, therapists can modulate the rehabilitation program according to objective metrics related to the actual effectiveness of a rehabilitation treatment rather than relying only on clinical scales.

Examples of upper-limb exoskeletons for rehabilitation purposes can be found in (7).

#### Occupational scenario

Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) relate to injuries or disorders of the muscles, nerves, tendons, joints, cartilage, and spinal discs, that the work environment and performance of work have significantly contributed to induce, worse, or persist longer (8). WMSDs are a common and serious problem in industrialized societies, since they are associated to high costs to the employers, either related to direct compensation costs or indirect costs (e.g. lost wages, lost production, cost of recruiting and training replacement workers, healthcare costs for rehabilitating the affected workers). Therefore, employers are constantly looking for solutions to reduce exposure of their workers to physical risk factors that can cause WMSDs (5). Recently, to pursue occupational health and safety of their workers, companies have shown increasing interest in exoskeletons as a valuable alternative and/or complementary tool to more expensive solutions like collaborative robots. Occupational exoskeletons can be defined as personal assistive devices that can reduce the physical burden on workers while performing demanding activities, by operating synergistically with its user (9).

Currently, occupational exoskeletons for the upper limbs represent the largest fraction of wearable robots tested and employed in industrial settings, such as in car assembly facilities or in manufacturing shopfloors. Usually, they are designed to support the upper arms during prolonged overhead (e.g., in car underbody assembly) or dynamic repetitive gestures (e.g., manual material handling of goods), thus reducing the muscular strain on the human joints, such as the shoulder, with the final goal of limiting the risk for developing WMSDs.

Upper limb occupational exoskeletons are typically passive devices, since lightweight structures and high portability are features of paramount importance for their practical adoption by workers. They rely on spring mechanisms to set pre-defined and adjustable level of assistance by regulating the pre-tensioning of the spring.

Examples of upper-limb exoskeletons for occupational purposes can be found in (10).



## References:

1. Pons JL. Rehabilitation exoskeletal robotics. The promise of an emerging field. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 2010;29(3):57–63.
2. Gopura RARC, Kiguchi K. Mechanical designs of active upper-limb exoskeleton robots: state-of-the-art and design difficulties. In: *IEEE 11th International conference on rehabilitation Robotics, ICORR, Kyoto, June 23-26, 2009.* Piscataway: IEEE; 2009:178–187.
3. De Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O'Sullivan LW. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics.* 2016;59(5):671–81.
4. Chen B, Grazi L, Lanotte F, Vitiello N, Crea S. A real-time lift detection strategy for a hip exoskeleton. *Front Neurobot.* 2018;12:17.
5. Crea S, Beckerle P, De Looze M, De Pauw K, Grazi L, Kermavner T, et al. Occupational exoskeletons: a roadmap toward large-scale adoption. Methodology and challenges of bringing exoskeletons to workplaces. *Wearable Technol.* 2021;2:e11.
6. Haarman JAM, Reenalda J, Buurke JH, van der Kooij H, Rietman JS. The effect of 'device-in-charge' versus 'patient-in-charge' support during robotic gait training on walking ability and balance in chronic stroke survivors: a systematic review. *J Rehabil Assist Technol Eng.* 2016;3: 2055668316676785
7. Maciejasz P, Eschweiler J, Gerlach-Hahn K, Jansen-Troy A, Leonhardt S. A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11:3.
8. Work-related musculoskeletal disorders & ergonomics. Centers for Disease Control and Prevention, Dostopno na: <https://www.cdc.gov/workplacehealthpromotion/health-strategies/musculoskeletal-disorders/index.html> (citirano 21. 2. 2022).
9. Monica L, Anastasi S, Draicchio F. Occupational exoskeletons: wearable robotic devices and preventing work-related musculoskeletal disorders in the workplace of the future. European Agency for Safety and Health at Work; 2020. Dostopno na: <https://osha.europa.eu/en/publications/occupational-exoskeletons-wearable-robotic-devices-and-preventing-work-related> (citirano 21. 2. 2022).
10. De Vries A, de Looze M. The effect of arm support exoskeletons in realistic work activities : a review study. *J Ergonomics.* 2019;9(4):255.

# MODERN TECHNOLOGIES IN PROSTHETICS AND ORTHOTICS

## SODOBNE TEHNOLOGIJE V PROTETIKI IN ORTOTIKI

Jiri Rosicky<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>ING corporation, Frydek-Mistek, Czech Republic

<sup>2</sup>Ortopedická protetika Frydek-Mistek, Frydek-Mistek, Czech Republic

<sup>3</sup>Invent Medical Group, Ostrava, Czech Republic

### Abstract

#### Introduction:

Prosthetics and orthotics (P&O) is a special clinical and technical field that provides treatment for patients using orthotic or prosthetic devices. Technological trends have an impact on technical solutions in P&O.

#### Objectives:

The aim of this presentation is to show some modern technologies in prosthetics and orthotics.

#### Methods:

There are technical trends that influence the development of prosthetic and orthotic solutions. The following areas are emphasized in the field of modern P&O:

##### 1. Neurotechnology

Neurotechnology solutions represent a shift from muscle-controlled devices to mind-controlled devices. There are several solutions in upper limb/lower limb prosthetics that will be demonstrated.

##### 2. Robotics

Robotic principles are applied in active prosthetic and orthotic devices. Powered and controlled prosthetic and orthotic devices represent the highest technological level in a current clinical practice.

##### 3. Internet of Things

Sensors and their use in prosthetic and orthotic solutions could help in telemedicine and online diagnostics in P&O.

##### 4. 3D printing

3D printing (additive manufacturing) is a modern manufacturing method that will be increasingly used in custom orthotic and prosthetic devices. The steps that

### Povzetek

#### Uvod:

*Protetika in ortotika je posebno klinično in tehnično področje, ki pacientom zagotavlja pomoč z ortozami in protezami. Tehnološki trendi vplivajo na tehnične rešitve v protetiki in ortotiki.*

#### Cilji:

*Namen predstavitve je prikazati nekatere sodobne tehnologije v protetiki in ortotiki.*

#### Metode:

*Tehnični trendi vplivajo na razvoj rešitev v protetiki in ortotiki. V sodobni protetiki in ortotiki so najpomembnejše naslednje rešitve:*

##### 1. Nevrotehnologija

*Nevrotehnološke rešitve pomenijo premik od naprav, ki jih nadzorujejo mišice, k napravam, ki jih nadzoruje um. Predstavljene bodo različne rešitve v protetiki zgornjih in spodnjih udov.*

##### 2. Robotika

*Načela robotike se uporabljajo v aktivnih protetičnih in ortotičnih napravah. Nadzorovane protetične in ortotične naprave s pogonom predstavljajo najvišjo raven trenutne klinične prakse.*

##### 3. Internet stvari

*Senzorji in njihova uporaba lahko na področju protetike in ortotike pripomorejo k telemedicini in diagnostiki na daljavo.*

##### 4. 3D tisk

*3D tisk (aditivna proizvodnja) je sodoben proizvodni postopek, ki se ga bo vse bolj uporabljalo za izdelavo ortoz in protez po meri. Koraka, ki omogočata neposredno digitalno*

enable direct digital manufacturing using 3D printing are 3D scanning and CAD design of the final product.

**Conclusion:**

All the above-mentioned trends that are applied in modern technical solutions in prosthetics and orthotics are based on the application of digital technologies. Modern technologies focus on the seamless integration of human/patient (physiological processes) and modern external prosthetic or orthotic devices (function and performance).

**Key words:**

prosthetics and orthotics; digital technologies; trends

*proizvodnjo s 3D tiskom, sta 3D skeniranje in računalniško podprto načrtovanje končnega izdelka.*

**Zaključek:**

*Vsi zgoraj navedeni trendi, ki se uporabljajo za sodobne tehnične rešitve v protetiki in ortotiki, temeljijo na uporabi digitalnih tehnologij. Sodobne tehnologije se osredotočajo na neopazno integracijo človeka oziroma pacienta (fizioloških procesov) in sodobnih protetičnih ali ortotičnih naprav (funkcije in zmožnosti).*

**Ključne besede:**

*protetika in ortotika; digitalne tehnologije; trendi*

# UPORABA SISTEMA CAD-CAM V PROTETIKI IN ORTOTIKI PO DVAJSETIH LETIH PRAKTIČNIH IZKUŠENJ *USE OF THE CAD-CAM SYSTEM IN PROSTHETICS AND ORTHOTICS AFTER TWENTY YEARS OF PRACTICAL EXPERIENCE*

**Uroš Vesenjak<sup>1</sup>, Matej Nose<sup>1</sup>, Marko Pisek<sup>1</sup>, Dejan Tašner<sup>2</sup>, Boštjan Boltežar<sup>3</sup>, Maja Mlakar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

<sup>2</sup>OIM ortopedski inženiring, Dejan Tašner, s. p., Ljubljana

<sup>3</sup>MOOR ORTOTIKA IN PROTETIKA d.o.o., Jesenice na Dolenjskem

## Povzetek

Uvajanje novih in modernih tehnologij ter njihova posodobitev v proizvodnih procesih je danes stalnica. Proizvodnja medicinskih pripomočkov (MP) pri tem ni izjema. Ta se deli na dve področji, in sicer na serijsko izdelavo MP in izdelavo MP za posameznega uporabnika. V prispevku se osredotočamo na področje izdelave MP za posameznega uporabnika, in sicer ortoz in protez udov. Na področju protetike in ortotike je danes večina tehnoloških procesov kombinacija klasičnih in računalniško podprtih procesov. Na 13. dnevih rehabilitacijske medicine leta 2002 je bil v Sloveniji prvič objavljen članek o možnostih uporabe sistemov CAD-CAM na področju protetike v Sloveniji (1). V prispevku bomo predstavili današnje stanje uporabe sodobnih tehnoloških procesov v treh protetičnih in ortotičnih delavnicah v Sloveniji. Po dvajsetih letih smo zbrali in predstavili izkušnje ter ocenili prednosti in slabosti, ki jih opažamo pri svojem delu in uporabi različnih sodobnih tehnoloških orodij in tehnik.

## Ključne besede:

moderne tehnologije; tehnološka orodja in tehnike; računalniško podprti procesi; ortotika; protetika

## Abstract

*The introduction of new and modern technologies and the modernization of technologies in production processes is nowadays a constant. The production of medical devices (MD) is no exception in this respect. The production of MDs is divided into two areas: the serial production of MDs and the production of custom-made MDs for individual users. In this paper, we focus on the latter, more specifically custom-made orthoses and limb prostheses. In the field of prosthetics and orthotics today, the majority of technological processes are a combination of classical and computer-aided processes. At the 13th Days of Rehabilitation Medicine in 2002, an article was published for the first time in Slovenia on the possibilities of using CAD-CAM systems in the field of prosthetics in Slovenia (1). In the current paper, we will present the state of use of modern technological processes in three prosthetics and orthotics workshops in Slovenia. After twenty years, we have gathered and presented our experiences and assessed the advantages and disadvantages that we observe in our work and the use of various modern technological tools and techniques.*

## Key words:

*modern technologies; technological tools and techniques; computer-aided processes; orthotics; prosthetics*



## UVOD

Izdelovanje medicinskih pripomočkov (MP) je dejavnost, ki obstaja že stoletja. Od prvih pripomočkov, narejenih iz lesa ali kovine ali usnja in kovine (2, 3), do današnjih izdelkov je tehnološki razkorak ogromen, čeprav izdelovanje MP še vedno temelji na tehnologijah, ki so bile uporabljene tudi pri prvih tovrstnih izdelkih. To velja predvsem za MP, izdelan za posameznega uporabnika, ki se načrtuje in izdeluje individualno glede na anatomsko in funkcionalno stanje posameznika, ki MP potrebuje. Serijska izdelava MP je industrijska proizvodnja, ki s postopki individualne izdelave MP ni primerljiva.

Prvi vidnejši tehnološki premik v postopkih izdelave MP za posameznega uporabnika je zabeležen v 70. letih prejšnjega stoletja, ko so v tehnološki postopek uvedli plastiko in tehnologije za njeno obdelovanje (4). Naslednji korak pa je pomenil razvoj računalniško podprtih orodij in tehnik. Prvič so bili tovrstni pripomočki za izdelavo protez udov in ortoz predstavljeni v 80. letih (5–8).

Pričakovanja, ki jih je v ortotiko in protetiko prinesel razvoj računalniško podprtih tehnologij, so bila poleg optimiziranja delovnih postopkov in vpeljave postopkov, ki so za uporabnika in izdelovalca prijaznejši, tudi povečanje dostopnosti do MP na manj razvitih območjih. To je veljalo tako za svetovno kot tudi slovensko tržišče (1, 9). Na strokovnem področju še vedno ni sprejetega jasnega dogovora o prednostih in pomanjkljivostih sodobnih tehnoloških orodij in tehnik v primerjavi z ročnimi ali klasičnimi tehnološkimi postopki. Kljub temu pa se je tako kot na drugih področjih našega življenja tudi v ortotiki in protetiki uporaba računalniško podprtih tehnologij razširila na vsa področja delovanja in proizvodnje (10–14). Danes si marsikaterega postopka ne znamo več predstavljati brez tehnološke podpore, čeprav najenostavnejše, kot so fotoaparati na telefonu ali vnos in shranjevanje podatkov o uporabniku ter priprava dokumentacije o izdanem pripomočku v različnih računalniških programih.

### Klasičen tehnološki postopek izdelave ortoze ali proteze udov za posameznega uporabnika

Da bomo uporabo sodobnih tehnoloških orodij in tehnik lažje primerjali, najprej predstavljamo klasičen način izdelave MP in glavne faze v postopku izdelave:

1. odvzem mere z mavčnimi povoji,
2. izdelava modela iz mavčne kaše,
3. obdelava mavčnega modela,
4. izdelava testnega MP,
5. preizkušanje testnega MP z uporabnikom,
6. končna izdelava MP.

Odvzem mere poteka tako, da se uporabnika zaščiti in nato ud ali del telesa ovije z mavčnimi povoji ali alginatom in nato še z mavčnimi povoji. Medtem ko se material trdi, je treba izvesti potrebne korekcije položaja uda ali dela telesa. Ko se mavčni povoji strdijo, se jih s škarjami ali vibracijsko žago izreže. V naslednji fazi se v mavčni negativ vlije mavčna kaša, iz katere po strjevanju nastane mavčni model. Ta se z mavčno pilo in drugimi pripomočki za oblikovanje ročno obdelava in zgladi. Tak je pripravljen za nadaljnjo izdelavo posameznih plastičnih delov MP. Plastiko obdelujemo na dva načina, in sicer z vlečenjem termoplastičnih plošč in postopkom vlijanja laminirnih smol.

Najprej se izdelava testni MP in izvede preizkus, na katerem tako ortotik/protetik kot uporabnik preverita, ali je namen pripomočka v zadostni meri dosežen, da je smiselna nadaljnja končna izdelava MP. Pri tej se določeni deli MP ponovno izdelajo iz trajnejšega materiala ali le prilagodijo in zatrdijo nastavitve MP ter dodelajo kozmetične podrobnosti.

V kolikor preizkušanje testnega MP ni uspešno oziroma MP ne dosega pričakovanih rezultatov, je treba postopek obdelave mavčnega modela ponoviti, lahko tudi odvzem mere ter izdelavo in obdelavo modela.

### Vrste računalniško podprtih orodij in tehnik v tehnoloških postopkih izdelave protez udov in ortoz za posameznega uporabnika

Opis klasičnega postopka izdelave je namenjen predvsem primerjavi postopkov, ki jih izvajamo s podporo novih tehnologij.

V Tabeli 1 so prikazani vsi računalniško podprti tehnološki postopki, ki jih trenutno uporabljamo v procesih proizvodnje MP za posameznega uporabnika.

V Tabelah 2, 3 in 4 je prikazana uporaba posameznih tehnoloških podprtih postopkov na posameznem področju izdelave MP.

#### Uporaba sodobnih tehnoloških orodij in tehnik na področju spinalne ortotike

V Tabeli 2 so prikazani posamezni računalniško podprti tehnološki postopki v procesu izdelave spinalnih ortoz.

#### Uporaba sodobnih tehnoloških orodij in tehnik na področju ortotike spodnjih udov

V Tabeli 3 so prikazani posamezni računalniško podprti tehnološki postopki v procesu izdelave ortoz za spodnje ude za posameznega uporabnika.

#### Uporaba sodobnih tehnoloških orodij in tehnik na področju protetike spodnjih udov

V Tabeli 4 so prikazani posamezni računalniško podprti tehnološki postopki v procesu izdelave protez za spodnje ude.

Računalniško podprte tehnologije se, kot je razvidno iz tabel, uporabljajo v vseh delavnicah in vseh obravnavanih strokovnih področjih na treh točkah tehnološkega postopka. Najprej na področju odvzema mere s skeniranjem uda ali dela telesa in nato še pri računalniški obdelavi tridimenzionalnega (3D) virtualnega modela. Druga točka je preizkušanje, kjer se ravno tako povsod uporablja vsaj eno od možnih tehnoloških orodij. Za izdelavo končnega izdelka MP se sodobne tehnologije uporabljajo le na področju stopalne ortotike in izdelave kozmetičnih delov protez za spodnje ude.

Glede na zgoraj opisane postopke, ki so v uporabi v današnji praksi izdelovanja MP za posameznega uporabnika na območju Slovenije, so v tabeli 5 navedene ocenjene prednosti in slabosti postopkov, kjer uporabljamo sodobna tehnološka orodja in tehnike.

**Tabela 1:** Računalniško podprti tehnološki postopki v procesu proizvodnje MP za posameznega uporabnika.**Table 1:** Computer-aided technological procedures in the process of producing custom made MDs.

Faza izdelave MP/ MD production phase	Uporaba sodobnih tehnoloških orodij in tehnik/Using of modern technological tools and techniques	Ocena uporabe, izražena v odstotkih/ Assessment of use expressed as a percentage
odvzem mere	3D-skeniranje	70 %
izdelava modela	3D-tiskanje, struženje poliuretanske pene	70 %
obdelava modela	računalniški programi za obdelavo virtualnih modelov	70 %
izdelava MP ali dela MP	3D-tiskanje, lasersko sintranje	20 %
preizkušanje MP	laserska merila, računalniški programi za statično in dinamično uravnavo, računalniški sistemi za merjenje pritiskov, računalniški sistemi za spremljanje uporabe MP	98 %
končna izdelava MP	3D-tiskanje	10 %

**Legenda/Legend:** MP – medicinski pripomoček/MD – medical device; 3D – tridimenzionalno/three dimensional

**Tabela 2:** Računalniško podprti tehnološki postopki v procesu izdelave spinalnih ortoz za posameznega uporabnika.**Table 2:** Computer-aided technological procedures in the process of producing custom made spinal orthoses.

Faza izdelave MP/ MD production phase	Možnosti uporabe sodobnih tehnoloških orodij in tehnik/ Possibilities of using modern technological tools and techniques	Ocena uporabe, izražena v odstotkih/ Assessment of use expressed as a percentage
odvzem mere	3D-skeniranje	98 %
izdelava modela	struženje poliuretanske pene	98 %
obdelava modela	računalniški program za obdelavo virtualnih modelov	98 %
izdelava MP ali dela MP	/	/
preizkušanje MP	računalniški sistemi za spremljanje uporabe MP	50 %
končna izdelava MP/	/	/

**Legenda/Legend:** MP – medicinski pripomoček/MD – medical device; 3D - tridimenzionalno/three dimensional

**Tabela 3:** Računalniško podprti tehnološki postopki v procesu izdelave ortoz za spodnje ude za posameznega uporabnika.**Table 3:** Computer-aided technological procedures in the process of producing custom made lower limb orthoses.

Faza izdelave MP/ MD production phase	Možnosti uporabe sodobnih tehnoloških orodij in tehnik/ Possibilities of using modern technological tools and techniques	Ocena uporabe, izražena v odstotkih/ Assessment of use expressed as a percentage
odvzem mere	3D-skeniranje	50 %
izdelava modela	3D-tiskanje, struženje poliuretanske pene	50 %
obdelava modela	računalniški programi za obdelavo virtualnih modelov	50 %
izdelava MP ali dela MP	3D-tiskanje, struženje različnih materialov	/
preizkušanje MP	laserska merila, računalniški programi za statično in dinamično uravnavo, sistemi za merjenje pritiskov	98 %
končna izdelava MP	3D-tiskanje, lasersko sintranje	10 %

**Legenda/Legend:** MP – medicinski pripomoček/MD – medical device; 3D – tridimenzionalno/three dimensional

**Tabela 4:** Računalniško podprti tehnološki postopki v procesu izdelave protez za spodnje ude.**Table 4:** Computer-aided technological procedures in the process of producing lower limb prostheses.

Faza izdelave MP/ MD production phase	Možnosti uporabe sodobnih tehnoloških orodij in tehnik/ Possibilities of using modern technological tools and techniques	Ocena uporabe, izražena v odstotkih/Assessment of use expressed as a percentage
odvzem mere	3D-skeniranje, fotografiranje	10 %
izdelava modela	struženje poliuretanske pene	70 %
obdelava modela	računalniških programi za obdelavo virtualnih modelov	70 %
izdelava MP ali dela MP	/	/
preizkušanje MP	laserska merila, računalniški programi za statično in dinamično uravnavo, sistemi za merjenje pritiskov	98 %
končna izdelava MP	3D-tiskanje kozmetičnih delov z različnimi materiali	5 %

**Legenda/Legend:** MP – medicinski pripomoček/MD – medical device; 3D – tridimenzionalno/three dimensional

**Tabela 5:** Ocenjene prednosti in slabosti v postopkih izdelave MP za posameznega uporabnika s sodobnimi tehnološkimi orodji in tehnikami.**Table 5:** Estimated advantages and disadvantages in the production processes of custom made MD with modern technological tools and techniques.

Faza izdelave MP/ MD production phase	Prednosti uporabe sodobnih tehnoloških orodij in tehnik/ Advantages of using modern technological tools and techniques	Slabosti uporabe sodobnih tehnoloških orodij in tehnik/Disadvantages of using modern technological tools and techniques
odvzem mere	<ul style="list-style-type: none"> <li>natančnost</li> <li>merljivost</li> <li>ponovljivost</li> <li>hitrost</li> <li>pacientom prijaznejši postopek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ni občutka plastičnosti tkiva ter položaja kosti in drugih struktur</li> <li>ni direktne korekcije položaja uda</li> <li>metode ne moremo uporabiti za vse paciente</li> <li>odvisnost od proizvajalca v primeru tehničnih težav</li> <li>cena naprav in računalniških programov</li> </ul>
izdelava modela	<ul style="list-style-type: none"> <li>hitrost</li> <li>natančnost</li> <li>ponovljivost</li> <li>primerljivost s predhodno izdelanimi modeli</li> <li>dobra vizualizacija modela</li> <li>uporabniku prijaznejši postopek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kompatibilnost računalniških formatov</li> <li>odvisnost od proizvajalca v primeru tehničnih težav</li> <li>vzdrževanje naprave</li> <li>prašni delci</li> <li>cena naprav in računalniških programov</li> </ul>
obdelava modela	<ul style="list-style-type: none"> <li>hitrost</li> <li>natančnost</li> <li>ponovljivost</li> <li>primerljivost s predhodno izdelanimi modeli</li> <li>dobra vizualizacija modela</li> <li>uporabniku prijaznejši postopek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>težje pridobiti občutek in razumevanje za virtualno 3D-modeliranje</li> <li>cena naprav in računalniških programov</li> </ul>
izdelava MP ali dela MP	<ul style="list-style-type: none"> <li>natančnost</li> <li>ponovljivost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3D-tisk je pri večjih modelih časovno zamuden</li> <li>pri določenih tehnikah je cena izdelave visoka</li> <li>težje se izvede ročne popravke</li> </ul>
preizkušanje MP	<ul style="list-style-type: none"> <li>merljivost</li> <li>dokazljivost/primerljivost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>cena naprav in računalniških programov</li> </ul>
končna izdelava MP	<ul style="list-style-type: none"> <li>merljivost</li> <li>dokazljivost</li> <li>primerljivost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>preverjanje kakovosti izdelkov še ni standardizirano</li> <li>majhna izbira ustrezno certificiranih materialov za uporabo v proizvodnji MP</li> <li>težje dodatno prilagajanje končnega</li> </ul>

**Legenda/Legend:** MP – medicinski pripomoček/MD – medical device; 3D – tridimenzionalno/three dimensional

## ZAKLJUČEK

Pričakovanja o hitrejšem in uporabnikom prijaznejšem postopku izdelave protez in ortoz so v današnji praksi dosežena le delno. Predvsem tretji del izdelave MP ali njegovega dela še vedno ni vzpostavljen do te mere, da bi omogočal široko uporabo, vzrok pa je bodisi še vedno previsoka cena ali premalo preizkušen izdelek oziroma material. V literaturi je v zadnjih desetih letih zaznati znaten porast različnih objav o uporabi sodobnih tehnologij in njihovi uporabi ter izdelavi različnih izdelkov (ležišča, ortoze ipd.) (15) na področju ortotike in protetike. Večina teh izdelkov na področju biokompatibilnosti in trdnosti še ni preverjena, kot to zahteva zakonodaja, oziroma v člankih teh podatkov ni navedenih. Na to področje je z učinkom nasprotnega vetra močno posegla nova zakonodaja o proizvodnji MP (16), ki je zaostri zahteve ter s tem podaljšala in podražila postopke registracije posameznih izdelkov in materialov na trgu MP. Izkušnje, ki jih imamo v Sloveniji, kažejo, da uporaba sodobnih tehnologij in orodij v postopku izdelave MP za posameznega uporabnika ni bistveno vplivala na možnost izdelave in izdaje MP v uporabo na daljavo oziroma olajšala dostopnosti do MP osebam z odročnejših območij. Trenutno se v delavnicah izven Ljubljane izdelujejo le ortoze za stopalo in ortopedska obutev. Ugotavljamo, da sta za uspešno izdelavo MP ključna prisotnost izdelovalca in njegovo sodelovanje z uporabnikom. Pomembno namreč je, da ima uporabnik možnost dobro preizkusiti MP, preden ga prevzame v uporabo. Izdelovalec mora za predvideno življenjsko dobo MP zagotavljati ustrezno servisiranje in popravila, ker je le tako zagotovljena varna in učinkovita uporaba. Vse naštetu pa zahteva neposredno sodelovanje ortotika in protetika z uporabnikom.

### Literatura:

- Gorec D. Uporaba sistema CAD-CAM v protetiki. V: Burger H, ur. Amputacije in protetika: 13 dnevi rehabilitacijske medicine, 15. in 16. marec 2002. Ljubljana: Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo; 2002:151–6.
- Thurston AJ. Paré and prosthetics: the early history of artificial limbs. *ANZ J Surg.* 2007;77(12):1114–9.
- Sellegren KR. An early history of lower limb amputations and prostheses. *Iowa Orthop J.* 1982;2:13–27.
- Stills M, Bennett Wilson A. A new material in orthotics and prosthetics. *Orthot Prosthet.* 1980; 34(3):29–37.
- Foort J, Spiers R, Bannon M. Experimental fitting of sockets for below-knee amputees using computer aided design and manufacturing techniques. *Prosth Orthot Int.* 1985;9(1):46–7.
- Klasson B. Computer aided design, computer aided manufacture and other computer aids in prosthetic and orthotics. *Prosth Orthot Int.* 1985;9(1):3–11.
- Lawrence RB, Knox W, Crawford HV. Prosthetic shape replication using a computer carving technique. *Prosth Orthot Int.* 1985;9(1):23–6.
- Brncick M. Computer automated design and computer automated manufacture. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2000;11(3):701–13.
- Afiqah Hamzah N, Razak NAA, Sayuti Ab Karim M, Gholizadeh H. A review of history of CAD/CAM system application in the production of transtibial prosthetic socket in developing countries (from 1980 to 2019). *Proc Inst Mech Eng H.* 2021;235(12):1359–74.
- Smith DG, Burgess EM. The use of CAD/CAM technology in prosthetics and orthotics--current clinical models and a view to the future. *J Rehabil Res Dev.* 2001;38(3):327–34.
- Wong MS, Cheng JC, Lo KH. A comparison of treatment effectiveness between the CAD/CAM method and the manual method for managing adolescent idiopathic scoliosis. *Prosthet Orthot Int.* 2005;29(1):105–11.
- Wong MS, Cheng CY, Ng BKW, Lam TP, Chiu SW. A comparison of the clinical effectiveness of spinal orthoses manufactured using the conventional manual method and CAD/CAM method in the management of AIS. *Stud Health Technol Inform.* 2006;123:225–32.
- Bidari S, Kamyab M, Ghandhari H, Komeili A. Efficacy of computer-aided design and manufacturing versus computer-aided design and finite element modeling technologies in brace management of idiopathic scoliosis: a narrative review. *Asian Spine J.* 2021;15(2):271–82.
- Cabrera IA, Pike TC, McKittrick JM, Meyers MA, Rao RR, Lin AY. Digital healthcare technologies: modern tools to transform prosthetic care. *Expert Rev Med Devices.* 2021;18 Suppl 1:129–44.
- Barrios-Muriel J, Romero-Sánchez F, Alonso-Sánchez FJ, Rodríguez Salgado D. Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: a technology review. *Materials (Basel).* 2020;13(2):295.
- Regulation (EU) 2017/745 of the European parliament and of the council of 5 April 2017 on medical devices, amending Directive 2001/83/EC, Regulation (EC) No 178/2002 and Regulation (EC) No 1223/2009 and repealing Council Directives 90/385/EEC and 93/42/EEC. *Off J Eur Union.* Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0745> (citirano 8. 3. 2022).



# MOŽNOSTI UPORABE ROBOTIKE SPODNJIH UDOV V REHABILITACIJI OSEB Z OKVARO HRBTENJAČE

## OPTIONS OF LOWER LIMBS ROBOTICS IN REHABILITATION OF PATIENTS WITH SPINAL CORD INJURY

**Klara Birk, dr. med., spec. fiz. in rehabilit. med., Janez Špoljar, mag. fiziot.**  
Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

Uporaba robotike omogoča pripravo in pričetek vadbe hoje zgodaj v rehabilitacijskem procesu, kar preko delovanja na različne telesne sisteme vpliva tudi na psihološko stanje in kakovost življenja osebe z okvaro hrbtenjače. V fazi zgodnje mobilizacije nagibna miza v kombinaciji s funkcionalno električno stimulacijo in gibi korakanja ugodno vpliva na daljši čas vzdrževanja pokončnega položaja. Pri pacientih z nepopolno okvaro zgornjega motoričnega nevrona v nadaljevanju rehabilitacije statični eksoskeleti omogočajo izbrano in ciklu hoje prilagojeno razbremenitev telesne teže med hojo na tekočem traku. Končne efektorske naprave z nadzorom distalnega dela kinetične verige omogočajo vadbo hoje in vzpenjanja po stopnicah ob različnih stopnjah vodenja giba in razbremenitve telesa. Premične eksoskelete ter naprave za razbremenitev telesne teže, ki jih usmerja pacient, pa je možno uporabljati tudi kot pripomoček za premikanje po prostoru, vadbo vstajanja in sedanja ter hoje po stopnicah. Ali je terapija z robotom učinkovitejša od običajne terapije pri osebah z okvaro hrbtenjače, še ni znano.

### Ključne besede:

nevrolška rehabilitacija; zgodnja mobilizacija; hoja; robotizirani eksoskelet

### Abstract

*Incorporating robotics enables preparation and beginning of gait training early in the rehabilitation process, which also influences the psychological state and quality of life of a person with spinal cord injury through the effect on various body systems. In the early mobilisation phase, tilt table in combination with functional electrical stimulation and stepping provides beneficial effect on longer maintenance of upright position. During the rehabilitation process in patients with incomplete upper motor neuron lesion, static exoskeletons allow the selection and adaptability of body-weight support according to the gait cycle during treadmill training. End-effector devices enable gait and stair-climbing training through control of the distal part of kinetic chain with varying guidance force and body-weight support. Exoskeletons and devices for body-weight support, which are patient guided, can also be used as an aid for over-ground walking, getting up and sitting down exercises, and climbing stairs. Whether robot-assisted therapy is more efficient than conventional therapy remains unknown.*

### Keywords:

*neurological rehabilitation; early mobilisation; gait; robotic exoskeleton*

## UVOD

Sposobnost za hojo pri osebah z okvaro hrbtenjače je odvisna od višine okvare hrbtenjače in dejstva, ali gre za popolno ali nepopolno okvaro (1). Pri pacientih z nepopolno okvaro hrbtenjače, kjer so delno ohranjene motorične in senzorične funkcije, po principu motoričnega učenja spodbujamo nevroplastičnost (2). Klasične, tehnološko nezahtevne metode vključujejo vadbo hoje po tleh, vadbo hoje s pripomočkom, vadbo premičnosti in mišične zmogljivosti ter vadbo hoje na tekočem traku z razbremenitvijo telesne teže (3). Slednja omogoča pričetek vadbe hoje zgodaj v rehabilitacijskem procesu (3) in naj bi omogočala optimalno senzorno okolje za učenje hoje (4). Za stabilizacijo in vodenje pacienta so pri tem potrebni tudi do štirje fizioterapevti (5, 6), delo pa je za fizioterapevte časovno in fizično zelo naporno (3).

Omenjene ugotovitve in zahteve so vodile v razvoj elektromehanskih sistemov, ki omogočajo intenzivnejšo in daljšo motorično vadbo, povečajo aferentni dotok informacij o za nalogo specifičnem gibanju, na primer korakanju, in spodbujajo nevroplastičnost v motoričnih centrih (5). Posledično se izboljšajo mišična zmogljivost, motorična kontrola in koordinacija gibov pacientov z nevrološki okvarami (2, 6). Poleg tega je dokazano, da robotsko asistirana vadba hoje pri osebah z okvaro hrbtenjače izboljša tudi kardiorespiratorno delovanje, funkcijo črevesa in sečil, stanje kože, mišično-skeletni, živčni in somato-senzorični sistem; zmanjšata se bolečina in spastičnost. S tem se izboljša psihološko stanje in kakovost življenja posameznika z okvaro hrbtenjače (2).

Robotske naprave se razlikujejo v možnosti uporabe v različnih okoljih (notranjih (v enem oziroma več prostorih) in zunanjih), stopnji razbremenitve telesne teže, pomoči pri izvedbi giba, potrebi po stabilnosti trupa in zmogljivosti mišic zgornjih udov ter obremenitvi srčno-žilnega sistema. Vključujejo lahko različne senzorske sisteme, vključno s površinsko elektromiografijo (2). V prispevku so predstavljene naprave za zgodnjo mobilizacijo in hojo. Slednje delimo na: premične eksoskelete, statične eksoskelete, končne efektorske naprave in naprave za razbremenitev telesne teže, ki jih usmerja pacient (6).

### Zgodnja mobilizacija

Pri pacientih z okvaro nad šestim prsnim vretencem lahko okvara avtonomnega živčevja dodatno prispeva k težjemu uravnavanju krvnega tlaka in pojavu ortostatske hipotenzije (7), ki se pojavlja pri 13 % do 100 % pacientov, odvisno od uporabljene metodologije, stopnje okvare, višine okvare in časa od začetka okvare (8). Nagibna miza (*angl.* tilt table) je nepogrešljiv terapevtski pripomoček za zgodnjo vertikalizacijo pacientov z okvaro hrbtenjače, pri katerih se ortostatska hipotenzija pojavlja. Ker refleksni simpatični odgovor na zastajanje venske krvi zaradi pokončnega položaja ni zadosten, se lahko pojavijo znaki le-te: vrtoglavica, slabost, bledica, potenje in/ali omedlevica (7).

Funkcionalna električna stimulacija se uporablja rutinsko v kliničnem okolju tudi za vzpostavljanje in vzdrževanje pokončnega položaja (9), prav tako se pri zdravih osebah elektromiografsko

kažejo vplivi na hrbtenjačo med ponavljajočim korakanjem, tudi pasivnim, v kombinaciji z električno stimulacijo skupnega peronealnega živca (10). Pri pacientih s popolno okvaro v vratnem delu hrbtenjače se pri dvigu na nagibni mizi, ob hkratni električni stimulaciji flektornih in ekstenzornih mišičnih skupin kolen in gležnjev, krvni tlak zniža statistično pomembno manj kot brez električne stimulacije, zato je tudi čas vzdrževanja pasivne stoje daljši (11).

Prednost robotizirane nagibne mize Erigo (DIH Technology, Švica) v primerjavi z navadno nagibno mizo je ponavljajoče korakanje med pokončnim položajem do 90° in opcijsko hkratno električno stimulacijo ekstenzornih in flektornih mišičnih skupin spodnjih udov (12). Frekvenca korakanja je nastavljiva od 0 do 80 korakov na minuto z enakomernimi fazami fleksije in ekstenzije. Mogoče je nastaviti odstotek vodenja, ki ga izvaja naprava. Varnost, izvedljivost in učinkovitost naprave je raziskana pri različnih skupinah pacientov v različnih obdobjih po začetku nevrološke okvare, in sicer pri pacientih po možganski kapi (13), nezgodni poškodbi možganov (14), motnjah zavesti (15) in pacientih v enotah intenzivne nege in terapije (16).

Pri pacientih s kronično okvaro hrbtenjače v in nad ravnijo šestega prsnega vretenca so Yoshida in sodelavci (2013) poročali o lažjem vzdrževanju krvnega tlaka pri 70° nagibu Eriga, ko je bila funkcionalna električna stimulacija nameščena na flektorne in ekstenzorne mišične skupine spodnjih udov (17). Tafreshi in sodelavci (2017) so v pilotni raziskavi na Erigu pri pacientih po možganski kapi in drugih nevroloških okvarah ugotovili, da sprememba frekvence korakanja, brez hkratne uporabe električne stimulacije, ni vplivala na spremembo krvnega tlaka med dvigom pacientov na 20° in 60° (18). Laubacher in sodelavci (2015) so v raziskavi izvedljivosti pri pacientih z nepopolno okvaro hrbtenjače na Erigu izvedli tudi obremenitveno testiranje, preverjali so vpliv vadbe na pljučni in srčno-žilni odgovor ter ocenjevali občutenje napora z Borgovo lestvico (19). Če je z vadbo na Erigu pri pacientih s popolno okvaro hrbtenjače, ob vključitvi električne stimulacije med korakanjem na izbranih stopinjah pokončnega položaja, poleg daljšega obdobja stoje in drugih že dokazanih pozitivnih vplivov stoje, mogoče vplivati tudi na počasnejšo izgubo splošne telesne pripravljenosti, bo potrebno ugotoviti v raziskavah z večjimi vzorci preiskovancev (20).

### Statični eksoskeleti

Medicinske naprave, ki omogočajo robotizirano vadbo hoje na tekočem traku, imenujemo statični eksoskeleti. Poleg izbrane asistencije s strani robotiziranih električnih ortoz za spodnja uda omogočajo izbrano in ciklu hoje prilagojeno razbremenitev telesne teže med hojo na tekočem traku. V sodelovanju med različnimi univerzami in rehabilitacijskimi centri po svetu je bilo v zadnjih dvajsetih letih razvitih več eksoskeletov za vadbo hoje na tekočem traku: LOPES (21), ALEX (22), ReoAmbulator (23), WALKBOT (24) in Lokomat (25), vendar vsi niso komercialno dostopni.

V svetovnem merilu je najbolj poznan in razširjen Lokomat (1, 25, 26). Zaradi komercialne dostopnosti, dejanske klinične uporabnosti in nepogrešljive tehnične podpore je tudi v slovenskem prostoru v uporabi Lokomat. Prav tako je učinkovitost vadbe hoje z različnimi statičnimi eksoskeleti pri pacientih z okvaro hrbtenjače daleč najbolj raziskana na Lokomatu. Način delovanja, možnosti, ki jih omogoča vadba hoje na Lokomatu in namen obravnave so opisani in dobro poznani (25). Novejša opcijska strojna in pripadajoča programska oprema, ki je z Lokomatom na voljo zadnja leta, je t. i. modul FreeD, ki med hojo omogoča lateralno translacijo medenice do 4 cm v vsako smer in transverzalno rotacijo do  $\pm 4^\circ$  v vsako smer, s čimer sistem dodatno oponaša čim normalnejši vzorec hoje (27). Površinske elektromiografske meritve mišic trupa in kolka so pri zdravih osebah pokazale zmanjšanje kompenzatornih mehanizmov, ki jih hodeči izvaja brez modula FreeD, kar morda vpliva na učinkovitejši prenos teže na spodnji ud med fazo opore (27). Modul FreeD je pri mladostnikih z različnimi nevrološkimi okvarami ob znižani vodilni sili s strani sistema omogočil večjo variabilnost hoje (28). Vpliv modula na vadbo hoje pri pacientih z okvaro hrbtenjače še ni raziskan, prav tako je neraziskan vpliv modula na učinkovitost vadbe pri drugih nevroloških pacientih.

Najpogostejša standardizirana merilna orodja, ki so jih raziskovalci uporabili za preverjanje učinkovitosti vadbe hoje na Lokomatu v primerjavi z drugimi postopki vadbe, so bila:

- Test hitrosti hoje na 10 metrov (10MWT), 6-minutni test hoje (6MWT), manualni test mišične zmogljivosti, Lestvica Ameriškega združenja za okvaro hrbtenjače (angl. American spinal injury association impairment scale - AIS), Lestvica funkcijske neodvisnosti - motorični del,
- Lestvica neodvisnosti oseb z okvaro hrbtenjače (angl. Spinal cord independence measure - SCIM), Indeks hoje za paciente z okvaro hrbtenjače (angl. Walking index for spinal cord injury - WISCI), Časovno merjeni test vstani in pojdi, Modificirana Ashworthova lestvica in Bergova lestvica za oceno ravnotežja (5, 29).

Raziskave učinkovitosti vadbe hoje na Lokomatu so izjemno heterogene, tako glede izbire standardiziranih merilnih orodij kot glede primerjave različnih fizioterapevtskih postopkov, zato najnovejši sistematični pregled literature Alashrama in sodelavcev ne vključuje tudi statistične metaanalize (5). Poleg tega avtorjem ni uspelo priti v stik z avtorji raziskav, vključenih v pregled literature in pregleda registrirati na PROSPERO platformi. Število obravnav znotraj enega tedna je v pregledanih raziskavah variiralo od dveh do petih obravnav na teden; velike razlike so bile glede na čas od začetka okvare do vključitve v raziskavo, glede na trajanje celotne obravnave od štirih do dvajsetih tednov, glede na trajanje ene obravnave od 30 do 90 minut, glede na hitrost vadbe hoje od 1 do 4 km/h, glede na odstotek razbremenitve telesne teže od 10 do 95 % in glede ocene kakovosti raziskav po avstralski fizioterapevtski podatkovni bazi podatkov PEDro (angl. Physiotherapy evidence database) od 2 do 8 (5). Sistematična pregleda literature Namove in sodelavcev (29) ter Mehrholza in sodelavcev (30) vključujeta tudi statistično metaanalizo podatkov.

Mehrholz in sodelavci poročajo, da robotizirana vadba hoje na Lokomatu pri pacientih z nepopolno okvaro hrbtenjače ne izboljša hitrosti hoje bolj kot vadba hoje po ravnem, ne glede na čas od začetka okvare (30). Piira in sodelavci so pri pacientih dve leti po nastanku okvare poleg te ugotovitve prišli do zaključkov, da vadba na Lokomatu tudi ni vplivala na podaljšanje prehojene razdalje; manjše statistično nepomembne izboljšave pa so ugotovili za mišično zmogljivost spodnjih udov in ravnotežje (31). Tudi Hornby in sodelavci v najnovejših kliničnih smernicah pri kroničnih pacientih ne priporočajo robotizirane vadbe hoje za izboljšanje hitrosti hoje in prehojene razdalje (32). Daljši čas trajanja vadbe na Lokomatu pri tej skupini pacientov ni vplival na izboljšanje hitrosti hoje ali prehojene razdalje (33), prav tako ne obstajajo priporočila za optimalno trajanje vadbe in število obravnav pri subakutnih pacientih (34).

Navedeno nas utrjuje v prepričanju, da so ciljna skupina za vadbo na Lokomatu pacienti z nepopolno okvaro zgornjega motoričnega nevrona do 6 mesecev po nastanku okvare. Pri tej skupini je, sicer na majhnem vzorcu preiskovancev, dokazan pozitiven vpliv daljše posamezne obravnave na Lokomatu v kombinaciji z ostalimi rehabilitacijskimi postopki na prehojeno razdaljo (35), kar vključno z izboljšanjem premičnosti in mišične zmogljivosti potrjujejo tudi Alashram in sodelavci (5). Kombinacijo uporabe Lokomata in drugih že uveljavljenih rehabilitacijskih in fizioterapevtskih postopkov zagovarjajo tudi Hayes in sodelavci (36). Vplivi na kakovost življenja, spastičnost, bolečino, ravnotežje, srčno-žilni sistem, depresijo in bolečino še niso dovolj raziskani. Varnostni odkloni, povezani z vadbo na Lokomatu, so zelo redki (5, 30).

## Premični eksoskeleti

Kadar je z robotiziranimi ortozami mogoče hoditi po tleh in se z njimi premikati po prostoru in ne na tekočem traku, govorimo o t. i. premičnih eksoskeletih. Prednost premičnih eksoskeletov v primerjavi s statičnimi eksoskeleti je ravno v funkciji in možnosti uporabe tudi kot pripomoček za dejansko premikanje po prostoru in ne zgolj z namenom terapevtske vadbe, čeprav je ta prednost pri pacientih z nevrološkimi okvarami zaenkrat zgolj pregovorna. Povprečna hitrost hoje pacientov s popolno okvaro hrbtenjače s pomočjo obstoječih eksoskeletov je namreč 0,26 m/s (37); povprečna hitrost hoje, pri kateri pacienti morda opustijo voziček in uporabljajo hojo kot edini način premikanja, pa je 0,59 m/s (38). Vadba vstajanja, stoje, hoje in sedanja s premični eksoskeleti se lahko izvaja zgodaj v rehabilitacijski obravnavi, s čimer imajo le-ti potencial za spodbujanje okrevanja (39), vendar je njihova uporaba zaenkrat vezana na rehabilitacijsko okolje (1).

Tehnološka podjetja v svetu trenutno izdelujejo eksoskelete. Za hojo nevroloških pacientov jih je zadnji sistematični pregled literature identificiral 25 (39), od teh jih ima šest dovoljenje za komercialno uporabo oziroma prodajo, in sicer: Ekso GT (40), HAL (41), Indego (42), ReWalk (43), REX (44) in SMA (45). Pri vseh navedenih, razen eksoskeleta REX, je za hojo in ostale dejavnosti, ki jih omogočajo, potrebna souporaba zgornjih udov, le pri tem je zaradi njegove večje stabilnosti v mirovanju mogoča uporaba zgornjih udov za doseganje in druge dejavnosti (1, 44).



Rodriguez-Fernandez in sodelavci so ugotovili, da je trenutno med nevrološkimi pacienti populacija, ki eksoskelete najbolj uporablja, ravno populacija pacientov z okvaro hrbtenjače, največji delež le-teh lahko uporablja Ekso GT in ReWalk (39).

Trenutne raziskave uporabnosti in učinkovitosti so opravljene na majhnih vzorcih populacij, s šibkimi metodološkimi in poročevalnimi značilnostmi in veliko heterogenostjo med protokoli (46), zato je potrebna previdnost pri interpretaciji rezultatov. Za robustnejše dokaze so potrebne dodatne randomizirane kontrolirane raziskave na večjih vzorcih populacij, ki so trenutno prej izjema kot pravilo. Najpogosteje uporabljena standardizirana merilna orodja so Test hoje na 10 metrov, 6-minutni test hoje, Časovno merjeni test vstani in pojdi; v manjšem številu raziskav pa so raziskovalci merili tudi porabo energije, izboljšanje različnih fizioloških parametrov, uporabnost in udobje (47). Novejše generacije eksoskeletov so se izkazale za varne pod pogojem, da se uporabljajo pod nadzorom in/ali z asistenco fizioterapevta. Padcev zaradi napak same naprave ni bilo (48), pri čemer zaenkrat ni prenosa eventualno dosežene izboljšane premičnosti iz eksperimentalnega v zunanje okolje (49). Večja učinkovitost vadbe hoje v primerjavi z drugimi fizioterapevtskimi postopki ni dokazana (50, 51). Prav tako so še v povojih študije stroškovne učinkovitosti (51).

## Končne efektorske naprave

Končne efektorske naprave omogočajo vadbo hoje in vzpenjanja po stopnicah ob različnih stopnjah vodenja giba in razbremenitve telesa. Delujejo na osnovi nadzora distalnega dela kinetične verige, ki se giba po določeni tirnici. Pacient stoji na dveh premičnih ploščah, ki simulirata hojo. Nanju je pritrjen s trakovi in je z njima v stiku skozi celoten cikel hoje. Naprava premika le stopala, kolena in kolki pa prosto sledijo gibanju (6, 52).

Kljub sorazmerno velikemu številu končnih efektorskih naprav (Gait trainer GT I in Gait trainer GT II (Reha-Stim, Nemčija), G-EO System (Reha Technologies, Švica), LokoHelp (Woodway, ZDA), HapticWalker (Fraunhofer Institute IPK, Nemčija), THERA Trainer Lyra (Thera Trainer, Nemčija), MorningWalk (Curexo, Južna Koreja) je raziskav o uporabi le-teh pri pacientih z okvaro hrbtenjače malo. Obstoječe raziskave so pokazale, da vadba hoje na končni efektorski napravi z razbremenitvijo telesne teže pomembno vpliva na povečanje prehojene razdalje (30, 53) in izboljšanje hitrosti hoje (53, 54) pri osebah z okvaro hrbtenjače. Calabrò in sodelavci so v pilotni raziskavi ugotovili še klinično pomembno izboljšanje razpoložnja, senzoričnih in motoričnih funkcij glede na lestvico AIS, zmanjšane zmožnosti glede na SCIM III lestvico in kakovost življenja še šest tednov po terapiji (54). Korejska prospektivna multicentrična raziskava pa je pokazala statistično pomembno izboljšanja ravnotežja in ocene na WISCI II (53).

## Naprave za razbremenitev telesne teže, ki jih usmerja pacient

Ob izboljšani koordinaciji gibov in še vedno prisotni potrebi po razbremenitvi teže lahko vadbo hoje nadaljujemo na napravi, ki omogoča samo razbremenitev telesne teže (55).

Te naprave delimo v dve skupini. V prvi so naprave za razbremenitev telesne teže, ki so pritrjene na strop, na primer ZeroG (Artech, ZDA), SafeGait 360° Balance and Mobility Trainer (DIH Technology, Švica), Vector Gait & Safety System (Bioness, ZDA)). Pomankljivost teh sistemov je, da je hoja omejena na prostor, kjer so naprave nameščene in na območje vodila naprave. RYSEN (Motek, Nizozemska) in FLOAT (Reha-Stim, Nemčija) sta napravi, ki omogočata več prostega gibanja, vendar sta še vedno omejeni na prostor (55).

Druga skupina naprav za razbremenitev telesne teže so mobilni sistemi, ki zagotavljajo podporo brez omejitve na prostor (CP Walker, KineAssist (Woodway, ZDA), Bungee Mobility Trainer (NeuroGymTech, Kanada), Andago V2.0 (DIH Technology, Švica), SoloWalk (Gaitronics Inc., ZDA) in WHERE-II (Koreja)) (55). Večina naprav ima senzorje in kontrolne algoritme, ki pomagajo usmerjati okvir in prilagajati razbremenitev. Omogočajo varen, skoraj normalen vzorec hoje v različnih situacijah ter intenzivno vadbo raznolikih, za aktivnost hoje specifičnih vaj (začetek, obrat, ustavitev, izogibanje oviram) v različnih življenjskih okoljih. V procesu rehabilitacije pa jih je možno kombinirati s premičnimi eksoskeleti. Takšna vadba hoje je možna le v notranjih prostorih, saj naprave zahtevajo ravno podlago (1, 55).

Ob pregledu literature smo našli le eno raziskavo, ki vključuje le paciente z okvaro hrbtenjače. Huber in Sawaki v njej ugotavljata statistično pomembno izboljšanje funkcije spodnjih sečil in črevesja ter izboljšanje funkcije gibanja po terapiji z dinamično razbremenitvijo telesa z ZeroG napravo pri pacientih po nepoškodbeni okvari hrbtenjače (56).

## ZAKLJUČEK

Rehabilitacijska robotika je področje, ki se nenehno razvija in s tem prinaša spremembe v terapiji posameznika z nevrološko okvaro (2). Glede na funkcionalno stanje pacienta lahko v proces rehabilitacije vključimo različne robotske naprave, ki spodbujajo nevroplastičnost, zmanjšujejo sekundarne zaplete po okvari hrbtenjače in razbremenijo fizioterapevte. Učinki vadbe so najbolj raziskani na področju statičnih eksoskeletov, ki so v uporabi tudi v URI - Soča. Ali je terapevtska obravnava z robotom učinkovitejša od običajne fizioterapije pri osebah z okvaro hrbtenjače, še ni znano. Zaenkrat dokazi govorijo v prid nekaterih naprav, kadar jih uporabljamo v kombinaciji z običajno fizioterapevtsko obravnavo.

### Literatura:

1. Reznik J, Simmons J. Rehabilitation in spinal cord injuries. Chatswood: Elsevier; 2021.
2. Holanda LJ, Silva PMM, Amorim TC, Lacerda MO, Simao CR, Morya E. Robotic assisted gait as a tool for rehabilitation of individuals with spinal cord injury: a systematic review. J Neuroeng Rehabil. 2017;14:126.
3. Mikolajczyk T, Ciobanu I, Badea DI, Iliescu A, Pizzamiglio S, Schauer T, et al. Advanced technology for gait rehabilitation: an overview. Adv Mech Eng. 2018;10(7):1–19.



4. Wernig A, Müller S. Laufband locomotion with body weight support improved walking in persons with severe spinal cord injuries. *Phys Ther.* 1992;30(4):229–38.
5. Alashram AR, Annino G, Padua E. Robot-assisted gait training in individuals with spinal cord injury: a systematic review for the clinical effectiveness of Lokomat. *J Clin Neurosci.* 2021;9:260–9.
6. Esquenazi A, Talaty M. Robotics for lower limb rehabilitation. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2019;30(2):385–97.
7. Moineau B, Brown A, Brisbois L, Zivanovic V, Miyatani M, Kapadia N, et al. Lessons learned from the pilot study of an orthostatic hypotension intervention in the subacute phase following spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2019;42(1):176–85.
8. Sidorov EV, Townson AF, Dvorak MF, Kwon BK, Steeves J, Krassioukov A. Orthostatic hypotension in the first month following acute spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2008;46(1):65–9.
9. Ibitoye MO, Hamzaid NA, Hayashibe M, Hasnan N, Davis GM. Restoring prolonged standing via functional electrical stimulation after spinal cord injury: a systematic review of control strategies. *Biomed Signal Process Control.* 2019;49(3):34–47.
10. Obata H, Ogawa T, Milosevic M, Kawashima N, Nakazawa K. Short-term effects of electrical nerve stimulation on spinal reciprocal inhibition depend on gait phase during passive stepping. *J Electromyogr Kinesiol.* 2018;38(2):151–4.
11. Chao CY, Cheing GL. The effects of lower-extremity functional electric stimulation on the orthostatic responses of people with tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(7):1427–33.
12. Czell D, Schreier R, Rupp R, Eberhard S, Colombo G, Dietz V. Influence of passive leg movements on blood circulation on the tilt table in healthy adults. *J Neuroeng Rehabil.* 2004;1(1):4.
13. Kumar S, Yadav R, Afrin A. The effectiveness of a robotic tilt table on the muscle strength and quality of life in individuals following stroke: a randomized control trial. *Int J Ther Rehabil.* 2020;27(12):1–9.
14. Frazzitta G, Valsecchi R, Zivi I, Sebastianelli L, Bonini S, Zarucchi A, et al. Safety and feasibility of a very early verticalization in patients with severe traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil.* 2015;30(4):290–2.
15. Krewer C, Luther M, Koenig E, Müller F. Tilt table therapies for patients with severe disorders of consciousness: a randomized, controlled trial. *PLoS One.* 2015;10(12):e0143180.
16. Frazzitta G, Zivi I, Valsecchi R, Bonini S, Maffia S, Molatore K, et al. Effectiveness of a very early stepping verticalization protocol in severe acquired brain injured patients: a randomized pilot study in ICU. *PLoS One.* 2016;11(7):e0158030.
17. Yoshida T, Masani K, Sayenko DG, Miyatani M, Fischer JA, Popovic R. Cardiovascular response of individuals with spinal cord injury to dynamic functional electrical stimulation under orthostatic stress. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2013;21(1):37–46.
18. Tafreshi AS, Riener R, Klamroth-Marganska V. Distinctive steady-state heart rate and blood pressure response to passive robotic leg exercise during head-up tilt: a pilot study in neurological patients. *Front Physiol.* 2017;8:327.
19. Laubacher M, Perret C, Hunt KJ. Work-rate-guided exercise testing in patients with incomplete spinal cord injury using a robotics-assisted tilt-table. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2015;10(5):433–38.
20. Craven CTD, Gollee H, Coupaud S, Purcell MA, Allan DB. Investigation of robotic-assisted tilt-table therapy for early-stage spinal cord injury rehabilitation. *J Rehabil Res Dev.* 2013;50(3):367–78.
21. Venemen JF, Kruidhof R, Hekman EEG, Ekkelenkamp R, Van Asseldonk EHF, van der Kooij. Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2007;15(3):379–86.
22. Banala SK, Agrawai SK, Kim SH, Scholz. Novel gait adaptation and neuromotor training results using an active leg exoskeleton. *IEEE ASME Trans Mechatron.* 2010;15(2):216–25.
23. Galvez, JA, Reinkensmeyer DJ. Robotics for gait training after spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2005;11(2):18–33.
24. Kim S, Yang L, Park IJ, Kim EJ, JoshuaPark MS, You SH, et al. Effects of innovative WALKBOT robotic-assisted locomotor training on balance and gait recovery in hemiparetic stroke: a prospective, randomized, experimenter blinded case control study with a four-week follow-up. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2015;23(4):636–42.
25. Colombo G, Joerg M, Schreier R, Dietz V. Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *J Rehabil Res Dev.* 2000;37(6):693–700.
26. Carpino G, Pezzola A, Urbano M, Guglielmelli E. Assessing effectiveness and costs in robot-mediated lower limbs rehabilitation: a meta-analysis and state of the art. *J Healthc Eng.* 2018:7492024.
27. Aurich-Schuler T, Gut A, Labruyere R. The freeD module for the lokomat facilitates a physiological movement pattern in healthy people - a proof of concept study. *J Neuroeng Rehabil.* 2019;16:26.
28. Aurich-Schuler T, Labruyere R. An increase in kinematic freedom in the Lokomat is related to the ability to elicit a physiological muscle activity pattern: a secondary data analysis investigating differences between guidance force, path control, and FreeD. *Front Robot AI.* 2019;6:109.
29. Nam KY, Kim HJ, Kwon BS, Park J, Lee HJ, Yoo A. Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14:24.
30. Mehrholz J, Harvey LA, Thomas S, Elsner B. Is body-weight-supported treadmill training or robotic-assisted gait training superior to overground gait training and other forms of physiotherapy in people with spinal cord injury? A systematic review. *Spinal Cord.* 2017;55:722–9.
31. Piira A, Lannem AM, Sorensen M, Glott T, Knutsen R, Jorgensen L. Robot-assisted locomotor training did not improve walking function in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a randomized clinical trial. *J Rehabil Med.* 2019;51:385–9.
32. Hornby TG, Reisman DS, Ward IG, Scheets PL, Miller A, Haddad D, et al. Clinical practice guideline to improve locomotor function following chronic stroke, incomplete spinal cord injury, and brain injury. *J Neurol Phys Ther.* 2020;44(1):49–100.
33. Sandler EB, Roach KE, Field-Fote EC. Dose-response outcomes associated with different forms of locomotor training in persons with chronic motor-incomplete spinal cord injury. *J Neurotrauma.* 2017;34(10):1903–8.
34. Van Hedel HJA, Severini G, Scarton A, O'Brien A, Reed T, Gaebler-Spira D, et al. Advanced robotic therapy integrated centers (ARTIC): an international collaboration facilitating the application of rehabilitation technologies. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15:36.
35. Wirz M, Mach O, Maier D, Benito-Penalva J, Taylor J, Esclarin A, et al. Effectiveness of automated locomotor training in patients with acute incomplete spinal cord injury: a randomized, controlled, multicenter trial. *J Neurotrauma.* 2017;34(10):1891–6.

36. Hayes SC, Wilcox CRJ, Forbes White HS, Vanicek N. The effects of robot assisted gait training on temporal-spatial characteristics of people with spinal cord injuries: a systematic review. *J Spinal Cord Med.* 2018;41(5):529–43.
37. Louie DR, Eng JJ, Lam T. Gait speed using powered robotic exoskeletons after spinal cord injury: a systematic review and correlation study. *J Neuroeng Rehabil.* 2015;12:82.
38. Van Silfhout L, Hosman AJF, Bartels RHMA, Edwards MJ, Abel R, Curt A, et al. Ten meters walking speed in spinal cord-injured patients: does speed predict who walks and who rolls? *Neurorehabil Neural Repair.* 2017;31(9):842–50.
39. Rodriguez-Fernandez A, Lobo-Prat J, Font-Llagunes JM. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments. *J Neuroeng Rehabil.* 2021;18:22.
40. Strausser KA, Swift TA, Zoss AB, Kazerooni H, Bennett BC. Mobile exoskeleton for spinal cord injury: development and testing. In: ASME 2011 dynamic systems and control conference and bath/ASME symposium on fluid power and motion control, vol. 2, October 31 - November 2, 2011. Arlington: American society of mechanical engineers digital collection; 2011:419–25.
41. Kawamoto H, Hayashi T, Sakurai T, Eguchi K, Sankai Y. Development of single leg version of HAL for hemiplegia. In: 2009 annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society, 3. - 6. September 2009. Minneapolis: IEEE engineering in medicine and biology society; 2009:5038–43.
42. Hartigan C, Kandilakis C, Dalley S, Clausen M, Wilson E, Morrison S, et al. Mobility outcomes following five training sessions with a powered exoskeleton. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2015;21(2):93–9.
43. Esquenazi A, Talaty M, Packel A, Saulino M. The ReWalk powered exo-skeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012;91(11):911–21.
44. Birch N, Graham J, Priestley T, Heywood C, Sakel M, Gall A, et al. Results of the first interim analysis of the RAPPER II trial in patients with spinal cord injury: ambulation and functional exercise programs in the REX powered walking aid. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14(1):60.
45. Buesing C, Fisch G, O'Donnell M, Shahidi I, Thomas L, Mummidisetty CK, et al. Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA®) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2015;12(1):69.
46. Dijkers M, Akers KG, Dieffenbach S, Galen SS. Systematic reviews of clinical benefits of exoskeleton use for gait and mobility in neurologic disorders; a tertiary study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021;102(2):300–13.
47. Contreras-Vidal JL, Bhagat NA, Brantley J, Cruz-Garza JG, He Y, Manley Q, et al. Powered exoskeletons for bipedal locomotion after spinal cord injury. *J Neural Eng.* 2016;13(3):031001.
48. Miller LE, Zimmermann AK, Herbert WG. Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. *Med Devices (Auckl).* 2016;9:455–66.
49. Lajeunesse V, Vincent C, Routhier F, Careau E, Michaud F. Exoskeletons' design and usefulness evidence according to a systematic review of lower limb exoskeletons used for functional mobility by people with spinal cord injury. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2015;11(7):535–47.
50. Federici S, Meloni F, Bracalenti M, De Filippis ML. The effectiveness of powered, active lower limb exoskeletons in neurorehabilitation: a systematic review. *NeuroRehabilitation.* 2015;37(2015):321–40.
51. Pinto D, Garnier M, Barbas J, Chang S, Charlifue S, Field-Fote E, et al. Budget impact analysis of robotic exoskeleton use for locomotor training following spinal cord injury in four SCI Model Systems. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17:4.
52. Mehrholz J, Pohl M, Kugler J, Elsner B. The improvement of walking ability following stroke. *Dtsch Arztebl Int.* 2018;115(39):639–45.
53. Shin JC, Jeon HR, Kim D, Cho SI, Min WK, Lee JS, et al. Effects on the motor function, proprioception, balance, and gait ability of the end-effector robot-assisted gait training for spinal cord injury patients. *Brain Sci.* 2021;11(10):1281.
54. Calabrò RS, Filoni S, Billeri L, Balletta T, Cannavò A, Militi A, et al. Robotic rehabilitation in spinal cord injury: a pilot study on end-effectors and neurophysiological outcomes. *Ann Biomed Eng.* 2021;49(2):732–45.
55. Van Hedel HJ, Rosselli I, Baumgartner-Ricklin S. Clinical utility of the over-ground bodyweight-supporting walking system Andago in children and youths with gait impairments. *J Neuroeng Rehabil.* 2021;18(1):29.
56. Huber JP, Sawaki L. Dynamic body-weight support to boost rehabilitation outcomes in patients with non-traumatic spinal cord injury: an observational study. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):157.

# MOŽNOSTI UPORABE ROBOTIKE V REHABILITACIJI ZGORNJEGA UDA PRI OSEBAH Z OKVARO HRBTENJAČE

## POSSIBILITIES OF USING ROBOTICS IN UPPER LIMB REHABILITATION FOR PERSONS AFTER SPINAL CORD INJURY

mag. Urška Kidrič Sivec, dr. med, Tibor Kafel, dipl. del. ter.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

V rehabilitaciji oseb s okvaro hrbtenjače v vratnem predelu se robotika uporablja kot dopolnilo klasičnim, uveljavljenim fizioterapevtskim in delovnoterapevtskim postopkom. Potencialne prednosti njene uporabe so v povečanem številu ponovitev in zagotavljanju pomoči pri motorični izvedbi giba. S tem robotske naprave prevzamejo nalogo oslabljenih mišic, motene propriocepcije in okrnjene izvedbe ter zagotovijo podporo in pravilni vzorec giba z zgornjim udom. Zaradi majhnega števila raziskav in predvsem pomanjkanja randomiziranih kontroliranih raziskav o uporabi robotike v rehabilitaciji je raven dokazov o učinkovitosti nizka. Treba bo torej načrtovati randomizirane kontrolirane raziskave, ki bodo s svojimi izsledki natančneje opredelile učinkovitost uporabe robotike v rehabilitaciji zgornjega uda pri osebah z okvaro hrbtenjače.

### Ključne besede:

robotika; rehabilitacija; zgornji ud; poškodba hrbtenjače

### Abstract

*In the rehabilitation of people with spinal cord injuries in the cervical region, robotics is used as a supplement to classical, established neurophysiotherapeutic and occupational-therapy procedures. Potential benefits include increased repetitions and assistance in motor performance. With providing support and proper upper limb movement pattern, the robots can help weakened muscles, impaired proprioception and performance. However, the level of evidence is low due to the small number of studies as well as the lack of randomised controlled trials. It will be necessary to plan randomised controlled trials, which will determine the effectiveness of the use of robotics in the rehabilitation of the upper limb in spinal cord injuries.*

### Key words:

*robotics; rehabilitation; upper limb; spinal cord injury*

## UVOD

Človeška roka je zapleten preplet sistemov, ki z natančno živčno uravnavo omogočajo cel razpon dejavnosti, zaznavanja in čustvanja. Z rokami skrbimo zase in za druge, ustvarjamo, delamo, čutimo, sporočamo. Njihov pomen se odraža tudi v vsakodnevnih izrazih, s prispodobno rok lahko namreč opišemo delo ali človeka, lahko tudi njegovo dejanje. Z izrazom roka se pogosto opiše delovanje celotnega zgornjega uda.

Poškodba hrbtenjače v vratnem predelu povzroči nevrološko okvaro, ki s spremenjeno živčno uravnavo povzroči spremembe in izgubo funkcije zgornjega uda v različnem obsegu. Ob tako velikem pomenu zgornjega uda v vsakodnevnem življenju se vsaka izguba funkcije odraža v okrnjeni samostojnosti in zmanjšanih zmožnostih, kar ima velik vpliv na kakovost človekovega življenja.

Rehabilitacijska obravnava po poškodbi hrbtenjače v vratnem predelu je zato usmerjena tudi v iskanje najprimernejših strategij



za izboljšanje funkcije zgornjega uda in načinov za večjo samostojnost ter s tem večjo kakovost življenja. V ta namen se išče tudi rešitve, ki jih ponuja sodobna tehnologija.

Od sodobnih tehnologij se v rehabilitaciji najpogosteje uporablja robotika, ki prevzema različne naloge in postaja dopolnilo klasičnim, uveljavljenim fizioterapevtskim ter delovnoterapevtskim postopkom. Glede na to, kakšne so naloge, ki jih roboti prevzemajo, jih lahko v grobem ločimo na robotske rehabilitacijske naprave (angl. robotic rehabilitation devices, RRD) in robotske asistenčne naprave (angl. robotic assistive devices, RAD).

Robotske rehabilitacijske naprave prevzemajo naloge terapevta s tem, da omogočijo povečano število ponovitev giba zgornjega uda in zagotavljajo pomoč pri motorični izvedbi giba. S tem prevzamejo nalogo oslabljenih mišic, motene proprioceptije in okrnjene izvedbe ter zagotovijo podporo in pravilni vzorec giba z zgornjim udom, ki ga oseba z okvaro hrbtenjače v vratnem predelu zaradi motene živčne uravnave ne zmore ustrezno izvesti. Glede na podporo, ki jo nudijo, ločimo naprave, ki zagotovijo končni izvedbeni del giba, običajno v zapestju in prstih (npr. Amadeo®), ter naprave, ki z zunanjo podporo celotnemu zgornjemu udu v obliki eksoskeleta omogočijo gib celotni kinematični verigi zgornjega uda (npr. Armeo®).

Robotske asistenčne naprave so namenjene pomoči pri izvedbi aktivnosti, predvsem dnevnih. Njihova prednost je, da omogočajo izvedbo dnevnih aktivnosti v domačem okolju. Potrebujemo pa natančno sprotno uravnavanje ob vsaki uporabi (npr. Obi®).

Uporabo robotike v rehabilitaciji zgornjega uda lahko kombiniramo tudi z uporabo računalniških iger in izzivov ter navidezne resničnosti, z neinvazivno možgansko stimulacijo ter s postopki BMI (angl. Brain Machine Interface) s ciljem olajšanja izvedbe, motivacije in izboljšanja funkcije.

Namen naše raziskave je bil ugotoviti, kakšne so možnosti uporabe robotike zgornjih udov v rehabilitaciji oseb z okvaro v vratnem delu hrbtenjače ter posledično kako učinkovita je.

## METODE

V podatkovnih zbirkah PubMed, zbirki člankov na spletni strani ISCoS (International Spinal Cord Society), spletni strani COCHRANE ter objavah projekta SCIRE (angl. Spinal Cord Injury Research Evidence) smo iskali pregledne članke o uporabi robotike v rehabilitaciji zgornjega uda pri osebah z okvaro hrbtenjače. Uporabili smo ključne besede: robotika, rehabilitacija, zgornji ud, okvara hrbtenjače (angl. rehabilitation, robotic, upper limb, spinal cord injury).

## REZULTATI

V podatkovni zbirki PubMed smo našli 138 člankov. V zbirki člankov na spletni strani ISCoS smo z vnosom ključnih besed našli 89 člankov, od katerih so bili pregledni članki isti kot v podatkovni zbirki PubMed.

Na spletni strani COCHRANE nismo našli nobenih ustreznih priporočil. V okviru projekta SCIRE poteka stalno spremljanje rehabilitacijskih postopkov s priporočili, eden od spremljanih rehabilitacijskih ukrepov je tudi uporaba robotike v rehabilitaciji zgornjega uda pri osebah po poškodbi hrbtenjače. Na podlagi pregleda objavljenih raziskav so nato podana priporočila SCIRE o uporabi robotike v rehabilitaciji zgornjega uda (10). Po pregledu rezultatov in povzetkov zbranih objav je bilo za namen našega pregleda primernih devet preglednih prispevkov (Tabela 1).

## RAZPRAVA

Pri osebah s poškodbo hrbtenjače je uporaba robotike namenjena predvsem vzpostavitvi hoje in omogočanju premikanja (10). V rehabilitaciji zgornjega uda se je robotika do nedavnega uporabljala le sporadično, v dostopni literaturi prevladujejo posamične študije primerov, raziskav je malo, vanje je vključeno majhno število preiskovancev, pogosto brez kontrolne skupine, ocenjevalne metode so različne. Zaradi tega je primerjava med posameznimi raziskavami otežena (1, 3, 4, 6–8, 10). Posledično je zelo težko narediti dober pregledni prispevek z jasnimi zaključki glede na vrednost dokazov.

V literaturi sicer navajajo številne potencialne prednosti uporabe robotike v rehabilitaciji zgornjega uda. Njena prednost je večje število ponovitev istega giba (1), lahko z izbranimi nalogami, ki se izvajajo ob robotsko podprtem zgornjem udu, ter z vključevanjem celotne kinematične verige oziroma kot pomoč pri končni izvedbi giba. Predpostavljajo, da lahko s pomočjo uporabe robotike vplivamo na plastičnost osrednjega živčevja s principom učljivosti in izboljšane zavedanja giba tako v motorični izvedbi kot tudi v zavedanju proprioceptivnega dela giba (1). S tem bi lahko izboljšali funkcijo roke in izvajanje dnevnih aktivnosti ter povečali kakovost življenja oseb z okvaro hrbtenjače v vratnem predelu (5).

Kljub dobro opredeljenim teoretičnim predpostavkam pri uporabi robotike v rehabilitaciji je zaradi majhnega števila raziskav ter zlasti pomanjkanja randomiziranih kontroliranih raziskav raven dokazov o učinkovitosti nizka. Nakazuje se njihova učinkovitost pri motorični izvedbi giba, motivaciji za sodelovanje v rehabilitacijskih postopkih in pri posameznih raziskavah tudi pri izboljšanju izvajanja dnevnih aktivnosti (5, 10).

Raziskave o uporabi robotike v rehabilitaciji zgornjega uda omejuje relativno majhna pojavnost poškodb in okvar hrbtenjače v vratnem predelu na milijon prebivalcev, težja dostopnost do robotike zaradi visoke cene v primerjavi s klasičnimi rehabilitacijskimi postopki ter različni ocenjevalni instrumenti za oceno napredka. Tudi nekatere večje ustanove za rehabilitacijo oseb z okvaro hrbtenjače robotskih naprav pri svojem delu še ne uporabljajo.

Ob večji dostopnosti robotskih naprav za rehabilitacijo zgornjega uda ter ob upoštevanju priporočil za uporabo ocenjevalnih orodij v rehabilitaciji oseb z okvaro hrbtenjače (11) pričakujemo, da bo izvedenih čedalje več randomiziranih kontroliranih raziskav, ki bodo s svojimi izsledki natančneje opredelile učinkovitost uporabe robotike v rehabilitaciji zgornjega uda pri osebah z okvaro



**Tabela 1:** Pregledni prispevki o možnosti uporabe robotike v rehabilitaciji oseb z okvaro vratne hrbtenjače in njeni učinkovitosti.**Table 1:** Review articles on the possibility of using robotics in the rehabilitation of persons with cervical spinal cord injury and its effectiveness.

Avtorji/Authors	Letnica objave/ Year of publication	Število zajetih raziskav/ Number of eligible studies	Zaključek/Conclusion
Lu et al. [3]	2015	16	Za oceno učinkovitosti uporabe robotike v rehabilitaciji zgornjega uda so potrebne dodatne raziskave.
Cheung et al. [8]	2017	11[0]	Za uporabo robotike v rehabilitaciji zgornjega uda niso našli nobene kontrolirane randomizirane raziskave.
Mekki et al. [1]	2018	Opisni pregled področja	Uporaba robotike v rehabilitaciji zgornjega uda je v porastu, možnosti so velike, raziskav je malo.
Singh et al. [7]	2018	12	Vključevanje sodobnih tehnologij v rehabilitacijo zgornjega uda je še v eksperimentalni fazi, nakazujejo se potencialne koristi, potrebne bodo dodatne raziskave.
Dunkelberger et al. [4]	2020	Opisni pregled področja	Uporaba sodobnih tehnologij je v eksperimentalni fazi, potrebna je standardizacija rezultatov.
Morone et al. [2]	2021	11	Nakazuje se izboljšanje kakovosti giba in funkcije roke ob uporabi robotike, vendar je zaradi heterogenosti raziskav težko posplošiti izsledke. Potrebne bodo dodatne raziskave.
Khalid et al. [5]	2021	28 (6 pri okvarah hrbtenjače)	Uporaba lahko vodi v motorično izboljšanje. Potrebne so dodatne raziskave in razvoj robotskih naprav za uporabo tudi v domačem okolju.
Grampurohit et al. [6]	2021	7	Vidno je pomankanje raziskav o uporabi visoko aktivnih ukrepov pri osebah z okvaro hrbtenjače.
Harvey et al. [9]	2021	27	Raven dokazov za izboljšanje SCIM/FIM ob uporabi različnih terapevtskih postopkov, vključno z uporabo robotike, pri osebah z okvaro hrbtenjače je nizka.
SCIRE (Spinal Cord Injury Research Evidence) [10]	2022	9	Uporaba robotike v rehabilitaciji lahko izboljša funkcijo zgornjega uda, vendar je raven dokazov nizka.

hrbtenjače. Temu se pridružujemo tudi v naši ustanovi (12). V pričujočem zborniku je namreč objavljen tudi prispevek o naših ugotovitvah, ki zaenkrat nakazujejo učinkovitost.

## ZAKLJUČEK

Uporaba robotike v rehabilitaciji zgornjega uda pri osebah z okvaro hrbtenjače lahko ob že uveljavljenih rehabilitacijskih postopkih doprinese k izboljšanju funkcije zgornjega uda in posledično k izboljšanju kakovosti življenja. Ugotavljamo, da je uporaba robotike na tem področju pravzaprav še močno omejena, morda tudi zaradi dostopnosti naprav. Za natančnejšo opredelitev koristi robotike v rehabilitaciji zgornjega uda pri osebah z okvaro hrbtenjače v vratnem predelu bo potrebnih več randomiziranih kontroliranih raziskav, ki nam bodo dale jasnejše informacije tako o uporabnosti kot tudi o učinkovitosti.

## Literatura:

- Mekki M, Delgado AD, Fry A, Putrino D, Huang V. Robotic rehabilitation and spinal cord injury: a narrative review. *Neurotherapeutics*. 2018;15(3):604–17.
- Morone G, de Sire A, Martino Cinnera A, Paci M, Perrero L, Invernizzi M, et al. Upper limb robotic rehabilitation for patients with cervical spinal cord injury: a comprehensive review. *Brain Sci*. 2021;11(12):1630.
- Lu X, Battistuzzo CR, Zoghi M, Galea MP. Effects of training on upper limb function after cervical spinal cord injury: a systematic review. *Clin Rehabil*. 2015;29(1):3–13.
- Dunkelberger N, Scheerer EM, O'Malley MK. A review of methods for achieving upper limb movement following spinal cord injury through hybrid muscle stimulation and robotic assistance. *Exp Neurol*. 2020;328:113274.
- Khalid S, Alnajjar F, Gochoo M, Renawi A, Shimoda S. Robotic assistive and rehabilitation devices leading to motor recovery in upper limb: a systematic review. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2021;16:1–15.
- Grampurohit N, Bell A, Duff SV, Mulcahey MJ, Thielen CC, Kaplan G, et al. Highlighting gaps in spinal cord injury research in activity-based interventions for the upper extremity: a scoping review. *NeuroRehabilitation*. 2021;49(1):23–38.
- Singh H, Unger J, Zariffa J, Pakosh M, Jaglal S, Craven BC, et al. Robot-assisted upper extremity rehabilitation for

- cervical spinal cord injuries: a systematic scoping review. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2018;13(7):704–15.
8. Cheung EYY, Ng TKW, Yu KKK, Kwan RLC, Cheing GLY. Robot-assisted training for people with spinal cord injury: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(11):2320–2331.e12.
  9. Harvey LA, Glinsky JV, Chu J. Do any physiotherapy interventions increase spinal cord independence measure or functional independence measure scores in people with spinal cord injuries? A systematic review. *Spinal Cord.* 2021;59(7):705–15.
  10. SCIRE (Spinal Cord Injury Research Evidence). Dostopno na: <https://scireproject.com/evidence/rehabilitation-evidence/upper-limb/pharmacological-interventions/robotics/> (citirano 2. 3. 2022).
  11. Steeves JD, Lammertse D, Curt A, Fawcett JW, Tuszynski MH, Ditunno JF, et al. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury (SCI) as developed by the ICCP panel: clinical trial outcome measures. *Spinal Cord.* 2007;45(3):206–21.
  12. Šuc L, Vidovič M, Ocepek J. Robotsko podprta delovnoterapevtska obravnava zgornjega uda nevroloških bolnikov: pregled literature in študija primera. V: Burger H, Goljar N. ur. *Izboljšave v klinični praksi: zbornik predavanj: 31. dnevi rehabilitacijske medicine*, Ljubljana, 1. in 2. oktober 2020. Ljubljana: Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenija - Soča; 2020:101–10.

# UČINKOVITOST ROBOTIZIRANE VADBE ZGORNJIH UDOV PRI OSEBAH Z OKVARO VRATNEGA DELA HRBTENJAČE

## EFFECTIVENESS OF ROBOT-ASSISTED UPPER LIMB THERAPY FOR PEOPLE WITH CERVICAL SPINAL CORD INJURY

**Tibor Kafel, dipl. del. ter., mag. Urška Kidrič Sivec, dr. med., Urška Miklič, dipl. del. ter., Petra Grabner, dipl. del. ter., Anja Vesenjajk, dipl. del. ter., Tanja Štefančič Smisl, dipl. del. ter., Marko Vidovič, dipl. del. ter., mag. kin.**

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

#### Izhodišča:

Okvara hrbtenjače ima velik vpliv na vsa področja življenja, predvsem pa gibalno oviranost. Ključna je zgodnja rehabilitacija, katere del je delovna terapija. Cilj delovne terapije pri osebah z okvaro vratnega dela hrbtenjače je vključevanje v vsakodnevne dejavnosti in produktiven življenjski slog. Dopolnitev klasičnim delovnoterapevtskim ukrepom je lahko robotsko podprto gibanje zgornjih udov, ki se nakazuje kot učinkovito za izboljšanje funkcij zgornjega uda.

#### Metode:

Izvedena je bila randomizirana kontrolirana raziskava. Sodelovalo je štirinajst oseb z okvaro vratnega dela hrbtenjače, sedem v eksperimentalni in sedem v kontrolni skupini. Poleg klasične delovnoterapevtske obravnave so bile osebe v eksperimentalni skupini deležne še desetih terapij s pomočjo robotsko podprtega gibanja. Osebe v kontrolni skupini so bile deležne dodatne ure delovne terapije. Ocenjevalni instrumenti so bili izbrani v skladu s priporočili za uporabo pri osebah z okvaro hrbtenjače.

#### Rezultati:

Osebe eksperimentalne skupine so statistično značilno napredovale pri sili stiska leve roke, občutenju ter oceni zadovoljstva in izvedbe dejavnosti ( $p < 0,05$ ). Znotraj kontrolne skupine pri funkcijskih testih ni prišlo do statistično značilnih razlik. Primerjava napredka med skupinama je pokazala statistično značilne razlike pri ocenjevanju dejavnosti, pri funkcijskih ocenjevanjih pa jih ni bilo.

### Abstract

#### Background:

*Spinal cord injury impacts all life aspects, physical dysfunction being the most prominent. Early rehabilitation is crucial, part of which is occupational therapy. The main goal of occupational therapy in people with cervical spinal cord injury is participation in everyday life and productive life style. An addition to conventional occupational therapy may also be robot-assisted therapy of the upper limbs, which shows promising efficiency in improving upper limb functions.*

#### Methods:

*A randomised control trial with fourteen participants was conducted, seven in the experimental and seven in the control group. Along the standard occupational therapy intervention, the experimental group was provided ten therapies of robot-assisted therapy and the control group received an additional hour of occupational therapy. The outcome measures used were aligned with recommendations for use in people with spinal cord injury.*

#### Results:

*Participants of the experimental group have statistically significantly increased their left hand grip strength, sensibility as well as in participation and satisfaction assessment ( $p < 0.05$ ). The control group had no statistically significant improvements of functional tests. Between-group comparison of progress showed statistically significant differences in occupational assessment, but not in functional assessments.*

**Zaključek:**

Raziskava je potrdila učinkovitost robotsko podprte terapije pri osebah z okvaro vratnega dela hrbtenjače za izboljšanje telesnih funkcij kot tudi vključevanja v vsakodnevne dejavnosti. Veliko vrednost robotsko podprte terapije vidimo predvsem kot dodatek h klasični delovnoterapevtski obravnavi, za izboljšanje na ravni telesnih funkcij.

**Ključne besede:**

okvara hrbtenjače; robotsko podprta terapija; delovna terapija; rehabilitacija; zgornji ud

**Conclusion:**

*This study confirmed the effectiveness of robot-assisted therapy in people with cervical spinal cord injury for improving body functions as well as participation in everyday occupations. Robot-assisted therapy is a valuable addition to conventional occupational therapy for improving body functions.*

**Key words:**

*spinal cord injury; robot assisted therapy; occupational therapy; rehabilitation; upper limb*

**UVOD**

Na svetu je vsako leto med 250 in 500 tisoč novih primerov oseb z okvaro hrbtenjače (OH). OH je kompleksno stanje, pri katerem je v ospredju gibalna prizadetost, vendar ima velik vpliv na vsa področja življenja prizadete osebe kot tudi njene okolice (2), zato je zelo pomembna zgodnja, celostna rehabilitacija (3, 4). Del te je tudi delovna terapija. Njen cilj pri osebah z OH je čim večje vključevanje v vsakodnevne dejavnosti in produktiven življenjski slog (5). To dosežemo z uporabo različnih delovnoterapevtskih ukrepov, ki se v grobem delijo na prilagoditve (okolja ali izvedbe dejavnosti), ukrepe za vzpodbujanje vključevanja in izboljšanje telesnih funkcij (6). Slednje temelji na vzpodbujanju živčne reorganizacije (adaptacijske spremembe živčnih lastnosti) (7). Pri osebah z OH se živčna reorganizacija dogaja kot modifikacija že obstoječih živčnih povezav ali s formiranjem novih (8). Internevroni hrbtenjače ustvarijo nove povezave, ki pošiljajo descendne informacije iznad ravni poškodbe pod raven poškodbe (9). Plastičnost hrbtenjače omogoči preslikavo ukazov motoričnega korteksa v spinalne poti, kar je bistveno za hoteno gibanje po OH (10). Reorganizacijo in z njo motorično okrevanje (9) dodatno vzpodbujajo senzorni vnosi kot dotik in propriocepcija preko aferentnih nevronov. Proces živčne reorganizacije se lahko dodatno vzpodbudi, če so vzorci mišične aktivacije povezani z dosego vedenjskih ciljev in specifičnimi senzornimi informacijami (9). To lahko dosežemo z delovnoterapevtskimi ukrepi. Pomanjkljivost klasične delovnoterapevtske obravnave je, da je za osebe z OH v začetnih fazah rehabilitacije precej naporna in zato te osebe niso sposobne izvesti veliko ponovitev dejavnosti. (6). Za izboljšanje gibanja in vzpodbujanje živčne reorganizacije po OH je namreč poleg specifičnosti gibalnih nalog pomembno tudi večje število ponovitev določenega gibalnega vzorca (11). Dopolnitev klasičnim delovnoterapevtskim ukrepom pri osebah z okvaro vratnega dela hrbtenjače je zato lahko tudi robotsko podprto gibanje zgornjih udov (12). Najpogostejša naprava za izvajanje robotsko podprtega gibanja je eksoskelet. Eksoskeletne naprave imajo mehanske sklepe, zato se popolnoma prilagajajo uporabnikovemu udu in pomagajo pri izvedbi giba. Eksoskelet se pripne na celoten zgornji

ud in omogoči interakcijo v virtualno okolje (12). Njegova glavna prednost je, da lahko med eno terapijo izvedemo veliko število ponovitev z možnostjo prilagajanja intenzivnosti, težavnosti in obsega giba glede na sposobnosti posameznika (13). Pri osebah z okvaro vratnega dela hrbtenjače se potencial robotsko podprtega gibanja kaže za izboljšanje funkcij zgornjih udov (15). Vendar razsežnost učinkovitosti robotsko podprtega gibanja pri tej populaciji še ni podprta s kakovostnimi randomiziranimi raziskavami z veliko sodelujočimi (12).

Namen raziskave je bil ugotoviti učinkovitost robotsko podprtega gibanja pri osebah po okvari vratnega dela hrbtenjače za izboljšanje funkcij zgornjih udov ter uporabnikovo subjektivno zaznavanje morebitnih sprememb pri izvedbi vsakodnevnih dejavnosti.

**METODE****Preiskovanci**

Izvedli smo randomizirano kontrolirano raziskavo. Zasnova raziskave je upoštevala priporočila, podana v smernicah CONSORT 2010 (16) za nefarmakološke prospektivne randomizirane raziskave. Raziskava je potekala med marcem 2021 in februarjem 2022 v prostorih Univerzitetnega rehabilitacijskega inštituta Republike Slovenije – Soča (URI – Soča). V njej je sodelovalo štirinajst oseb z okvaro vratnega dela hrbtenjače, sedem v eksperimentalni in sedem v kontrolni skupini.

Sodelovali so pacienti hospitalizirani na III. nevrološkem oddelku URI – Soča s poškodbeno ali nepoškodbeno okvaro vratnega dela hrbtenjače. Sodelovanje v raziskavi je bilo prostovoljno, v kar so sodelujoči privolili pisno. Predhodno smo jih seznanili z namenom raziskave in načinom obdelave podatkov. Izvajanje raziskave je odobrila Komisija za medicinsko etiko za presojo etičnosti raziskovalnega predloga URI – Soča (št.: 035-1/2021-1/2-7).



## Vključitveni kriteriji

Vključitveni kriteriji za sodelovanje v raziskavi so bili okvara vratnega dela hrbtenjače, zmožnost gibanja zgornjih udov v razbremenitvi, starost 18 let ali več, sposobnost sedenja eno uro, zmožnost razumevanja navodil za izvajanje robotsko podprtega gibanja. Izključitveni kriteriji so bili prisotnost bolnišnične okužbe, zaradi katere mora oseba ostati v izolaciji, telesna okvara zaradi drugega vzroka kot OH in nezmožnost razumevanja navodil pri izvajanju robotsko podprtega gibanja. Kontraindikacije za izvajanje robotsko podprtega gibanja so enake kot za klasično delovno terapijo. Osebe, primerne za sodelovanje v raziskavi, je izbrala odgovorna zdravnica specialistka fizikalne in rehabilitacijske medicine.

## Protokol raziskave

V raziskavo je bilo vključenih 14 oseb. Vse so bile v klasično delovnoterapevtsko obravnavo vključene petkrat tedensko po 60 minut v obdobju petih tednov, individualno zasnovano glede na njihove potrebe, želje in zmožnosti. Osebe so bile naključno razdeljene v dve skupini po 7 oseb. Randomizacijo je izvedel vodja raziskave z uporabo funkcije "RAND" v programu Microsoft Excel (17).

V prvi skupini so bile osebe ob dosegu vključitvenih kriterijev poleg standardne delovnoterapevtske obravnave deležne še desetih terapij s pomočjo robotsko podprtega gibanja, dva- do trikrat tedensko po eno uro, pol ure z vsako roko. Osebe druge skupine so bile poleg standardne deležne še dodatne delovnoterapevtske obravnave, časovno enakovredne terapiji z robotsko podprtim gibanjem oseb prve skupine.

Prvih pet obravnav je bilo na napravi za prste in roko Amadeo, drugih pet na eksoskeletni napravi za grobe gibe zgornjih okončin z razbremenitvijo Armeo Spring. Ocenjevalni instrumenti so bili izbrani v skladu s priporočili za uporabo pri osebah z OH (19). Ocenjevanja so bila izvedena pred prvo obravnavo in po zaključku desetih obravnav.

## Ocenjevalni inštrumenti

Primarni ocenjevalni instrumenti so bili Stopenjsko redefinirano ocenjevanje moči, zaznavanja in prijemanja (*angl.* The Graded Redefined Assessment of Strength, Sensibility and Prehension (GRASSP) version 2 ali GRASSP myelopathy) ter ročni elektronski dinamometer (Jamar Plus+ Digital Hand Dynamometer®). GRASSP je bil zasnovan za ugotavljanje funkcij zgornjih udov pri osebah z okvaro vratnega dela hrbtenjače in preverjanje učinkovitosti terapevtskih ukrepov pri tej populaciji. Poda nam informacije o: 1. mišični moči zgornjih udov, ocenjeni z ročnim mišičnim testom; 2. občutenju prstov, ocenjenim s Semmes-Weinstein monofilamenti; in 3. spretnosti rok in prstov (20). Uporabljen je bil že v podobnih raziskavah (21), hkrati pa je zanesljiv in veljaven ocenjevalni instrument (22). Z ročnim elektronskim dinamometerom merimo jakost stiska roke. Za zanesljivost rezultatov uporabljamo standardiziran postopek (23).

Merjenje moči stiska z dinamometerom je časovno učinkovito ocenjevanje, ki je občutljivo na spremembe. Uporabljen je bil že v raziskavah, ki so podobne naši in v katerih so sodelovale osebe z okvaro vratnega dela hrbtenjače (15). Sekundarni ocenjevalni instrument je bil Kanadski test izvajanja dejavnosti (*angl.* Canadian Occupational Performance Measure, COPM). COPM je na dokazih temelječ, na uporabnika usmerjen delovnoterapevtski ocenjevalni instrument (24). S COPM-om prepoznamo težave, ki osebe omejujejo pri vključevanju v vsakodnevne dejavnosti in so za njih pomembne. Je občutljiv na spremembo subjektivnega zaznavanja izvedbe vsakodnevnih dejavnosti (25).

## Statistična analiza podatkov

Za analizo podatkov smo uporabili statistični program IBM SPSS Statistics 24 (za okolje Mac; IBM Corp., Armonk, NY, ZDA). Izračunali smo opisne statistike (povprečje, standardni odklon) in preverili skladnost z normalno porazdelitvijo (s Shapiro–Wilkovim testom W). Razlike v povprečnih vrednostih spremenljivk smo pred obravnavo in po njej statistično testirali s parnim t-testom, za razlike med skupinama pa smo uporabili t-test za neodvisne vzorce. Mejo statistične značilnosti smo postavili pri  $p < 0,05$ .

## REZULTATI

V raziskavo je bilo vključenih 14 oseb (tri ženske in enajst moških). Pri devetih osebah je bil vzrok okvare hrbtenjače poškodba, pri petih je bila okvara nepoškodbenega vzroka. Osebe so bile naključno razdeljene v dve skupini, kjer sta bili h klasični delovnoterapevtski obravnavi dodani še robotsko podprta terapija ali dodatna ura delovne terapije. Povprečna starost je bila 55 let (SO 16 let). Vse osebe so bile ob odpustu samostojne pri izvajanju vsakodnevnih dejavnosti. Ostali osnovni podatki oseb so predstavljeni v Tabeli 1. Za vse obravnavane spremenljivke smo izračunali opisne statistike. Ocene posameznih spremenljivk pred intervencijo in po njej so predstavljene v tabelah 2 in 3.

Osebe znotraj skupine, kjer je bilo dodano robotsko podprto gibanje, so statistično značilno napredovale pri jakosti stiska leve roke ( $p < 0,05$ ). Statistično značilen napredek za obe roki se je pokazal pri ocenjevanju občutenja, mišične moči in COPM-a (ocena zadovoljstva in izvedbe) ( $p < 0,05$ ). V skupini, kjer je bila dodana delovna terapija, do statistično značilnega napredka pri funkcijskih testih ni prišlo. Pri subjektivni oceni izvedbe in zadovoljstva (COPM) znotraj obeh skupin je parni t-test zaznal statistično značilen napredek.

Primerjava med skupinama ni pokazala statistično značilnih razlik (funkcijsko ocenjevanje), razen pri ocenjevalnem inštrumentu COPM. Pri postavki izvedba so se v skupini z dodatno uro delovne terapije ocenili v povprečju za  $-1,9$  (SO 1,4) točke slabše. V skupini z dodano robotsko podprto terapijo pa je bila ocena v povprečju za  $3,6$  (SO 1,9) točke višja. Statistično značilne razlike so se prav tako pojavile pri napredku v oceni zadovoljstva. Osebe, ki so bile deležne robotsko podprtega gibanja, so bile z izvedbo različnih vsakodnevnih dejavnosti bolj zadovoljne.

**Tabela 1:** Osnovne značilnosti vključenih oseb.**Table 1:** Characteristics of participants.

Karakteristike/ Characteristics	Robotsko podprta terapija/ Robot assisted therapy	Delovna terapija/ Occupational therapy	Skupaj/ Pooled sample
Spol/Sex N (%)			
Ženska/Female	1 (15)	2 (28)	3 (21)
Moški/Male	6 (85)	5 (72)	11 (79)
Starost (leta)/Age (years)			
Povprečje (SD)/Mean (SD)	52,4 (14,7)	56,7 (18,6)	54,6 (16,3)
Trajanje okvare/Chronicity of injury N (%)			
Subakutna/Subacute	5 (27)	6 (85)	11 (79)
Kronična/Chronic	2 (28)	1 (15)	3 (21)
Vrsta poškodbe/Type of injury (%)			
Poškodbena/Traumatic	5 (72)	4 (57)	9 (64)
Nepoškodbena/Non-traumatic	2 (28)	3 (43)	5 (36)
Dominanca/Dominant hand N (%)			
Desna/Right	5 (72)	7 (100)	12 (86)
Leva/Left	2 (28)	0 (0)	2 (14)

**Legenda/Legend:** N = število oseb/number of participants, SO = standardni odklon/standard deviation

## RAZPRAVA

Pri robotsko podprtem gibanju so uporabniki izpostavljeni velikemu številu ponovitev gibanja z možnostjo prilagajanja intenzivnosti glede na uporabnikove zmožnosti (13). V naši raziskavi smo uporabili dve različni napravi. Z eno so sodelujoči izvajali gibe s celotnim zgornjim udom, z drugo pa izolirane gibe distalnih delov zgornjih udov z možnostjo dodatnih senzornih vnosov v obliki vibracij. Napravama je skupna možnost razbremenjevanja in sprotnega prilagajanja težavnosti. Robotsko podprto gibanje je smiselni dodatek h klasični delovni terapiji, ki pogosto ne zagotovi tolikšnega števila ponovitev določenih gibov, kar pa je ključnega pomena za vzpodbujanje živčne reorganizacije za izboljšanje telesnih funkcij (11). To se kaže tudi v naši raziskavi. V skupini, ki je bila deležna robotsko podprtega gibanja, so se statistično značilno izboljšali tako sila stiska, mišična moč mišic zgornjih udov kot tudi občutenje sodelujočih. Podobno so v sistematičnem pregledu literature ugotovili tudi Khalid, Alnajjar, Gochoo in sod. (26), in sicer da je redna in sistematična uporaba robotiziranih naprav učinkovita pri izboljšanju funkcij roke oseb z okvaro vratnega dela hrbtenjače. Vsekakor pa je treba poudariti, da pri osebah z nekaj ohranjene funkcije in občutenja pričakujemo boljši napredek kot pri tistih brez nje (3,4). V naši raziskavi ni sodeloval nihče s popolno odsotnostjo gibanja. V tem primeru bi rezultati lahko bili drugačni. To sklepamo na podlagi raziskave Vanmulken in sod. (27), kjer pri osebah s popolno OH po robotsko podprtem gibanju niso ugotovili nobenega napredka.

Potencialna omejitev naše raziskave je, da so bile vanjo vključene osebe v subakutni kot tudi kronični fazi po OH. Velja namreč, da

imajo tisti v subakutnih fazah boljše izhodišče za napredovanje (3,4). Kljub temu lahko pri osebah s kronično OH prav tako pričakujemo statistično značilno izboljšanje funkcije zgornjih udov, pod pogojem, da je ob začetku obravnav ohranjenih vsaj nekaj funkcij (28–30). Na podlagi vsega omenjenega sklepamo, da je robotsko podprto gibanje lahko učinkovito za izboljšanje telesnih funkcij in ga je smiselno uporabljati v rehabilitaciji pri osebah z nepopolno okvaro vratnega dela hrbtenjače.

V kontrolni skupini ni prišlo do statistično značilnega napredka funkcijskih testov. Vzrok za to bi lahko bilo manjše število ponovitev gibov. Zbogor in sod. (31) navajajo, da oseba v uri delovnoterapevtske obravnave izvede v povprečju zgolj 42 ponovitev, medtem ko jih lahko v eni obravnavi s pomočjo robotsko podprtega gibanja tudi več sto (32). V tem oziru je robotsko podprto gibanje superiorno pri vzpodbujanju živčne reorganizacije preko masovnega utrjevanja gibov (11). Vsekakor pa ima omejitve v svoji specifičnosti za doseganje ciljev, povezanih z izvedbo vsakodnevnih dejavnosti. Na gibanju temelječo terapijo je treba za najboljše rezultate rehabilitacije (11) dopolnjevati s treningom ustreznih spretnosti, potrebnih za vključevanje v vsakodnevne dejavnosti, kar se v naši raziskavi vidi v rezultatih COPM-a. Napredek je sicer opazen v obeh skupinah, vendar so se med njima pokazale statistično značilne razlike pri izvedbi in zadovoljstvu v prid osebam, ki so bile deležne robotsko podprtega gibanja.

Naše rezultate pa je treba interpretirati zadržano. Vsi sodelujoči v raziskavi so bili v dnevni aktivnosti samostojni. Poleg tega je COPM subjektivno ocenjevanje. Da raziskava ni bila izvedena slepo, lahko vpliva na posameznikovo oceno, kar ima lahko za

**Tabela 2:** Razlika v merjenih vrednostih znotraj in med skupinama, funkcijski testi.**Table 2:** Differences in outcome measures within and between groups, functional tests.

Ocenjevalni instrumenti / Outcome measures	Robotsko podprta terapija/ Robot assisted therapy		Delovna terapija/ Occupational therapy		p (med skupinama/ between- groups)
	Povprečje (SO)/ Mean (SD)	p	Povprečje (SO)/ (Mean (SD)	p	
Sila stiska leva roka PRED/Grip strength of left hand BEFORE	12,4 (10,9)	0,053	19,2 (7,1)	0,076	0,931
Sila stiska leva roka PO/Grip strength of left hand AFTER	22,6 (17,9)		21,9 (8,5)		
Δ sila stiska leva roka/Δ grip strength of left hand	10,1 (11,1)		2,7 (3,2)		0,132
Sila stiska desna roka PRED/Grip strength of right hand BEFORE	16,2 (12,7)	<b>&lt;0,05</b>	15,2 (10,3)	0,388	0,265
Sila stiska desna roka PO/Grip strength of right hand AFTER	26,7 (15,3)		17,9 (12,6)		
Δ sila stiska desna roka/Δ grip strength of right hand	10,51 (11,0)		2,7 (7,6)		0,150
MMT leva roka PRED/ MMT left hand BEFORE	35,1 (12,4)	<b>&lt;0,05</b>	43,4 (5,2)	0,098	0,798
MMT leva roka PO/ MMT left hand AFTER	44,9 (6,9)		45,7 (5,1)		
ΔMMT leva roka/ΔMMT left hand	9,71 (6,1)		2,3 (3,0)		<b>&lt;0,05</b>
MMT desna roka PRED/ MMT right hand BEFORE	38,9 (11,5)	<b>&lt;0,05</b>	32,9 (10,8)	0,050	0,154
MMT desna roka PO/ MMT right hand AFTER	46,3 (5,9)		38,3 (12,1)		
Δ MMT desna roka/Δ MMT right hand	7,4 (6,5)		5,4 (5,8)		0,557
Občutenje leva roka PRED / Sensibility left hand BEFORE	7,3 (4,6)	<b>&lt;0,05</b>	8,3 (2,8)	0,111	0,935
Občutenje leva roka PO/ Sensibility left hand AFTER	9,1 (3,9)		9,3 (2,2)		
Δ občutenje leva roka/Δ sesibility left hand	1,87 (0,9)		1,0 (1,4)		0,205
Občutenje desna roka PRED/ Sensibility right hand BEFORE	8,3 (4,4)	<b>&lt;0,05</b>	7,3 (4,7)	0,172	0,735
Občutenje desna roka PO / Sensibility right hand AFTER	8,7 (4,6)		7,9 (4,5)		
Δ občutenje desna roka/Δ sesibility right hand	0,4 (0,7)		0,6 (0,9)		0,768

**Legenda/Legend:** N = število oseb/number of participants), SD = standardni odklon/SD = standard deviation, Δ = razlika znotraj skupine/in group difference, PRED = ocenjevanje pred začetkom raziskave/BEFORE = assessment at the beginning of the study), PO = ocenjevanje po končani raziskavi/AFTER = assessment at the end of the study, MMT = ocena ročne mišičnega testiranja/manual muscle testing

**Tabela 3:** Razlika v merjenih vrednostih znotraj in med skupinama, ocena izvajanja dejavnosti.**Table 3:** Differences in outcome measures within and between groups, occupational assessment.

Ocenjevalni instrumenti/ Outcome measures	Robotsko podprta terapija/ Robot assisted therapy		Delovna terapija/Occupational therapy		$\rho$ (med skupinama/ between-groups)
	Povprečje (SO)/ Average (SD)	$p$	Povprečje (SO)/ Average (SD)	$p$	
COPM izvedba PRED/COPM performance BEFORE	3,3 (1,8)	<b>&lt;0,05</b>	6,9 (1,8)	<b>&lt;0,05</b>	<b>&lt;0,05</b>
COPM izvedba PO/COPM performance BEFORE	2,8 (2,2)		4,6 (1,5)		
$\Delta$ COPM izvedba/ $\Delta$ COPM performance	3,6 (1,9)		- 1,9 (1,4)		0,096
COPM zadovoljstvo PRED/ COPM satisfaction BEFORE	3,3 (2,3)	<b>&lt;0,05</b>	4,7 (2,9)	<b>&lt;0,05</b>	0,170
COPM zadovoljstvo PO/ COPM satisfaction AFTER]	7,4 (1,8)		5,6 (2,5)		
$\Delta$ COPM zadovoljstvo/ $\Delta$ COPM satisfaction	4,1 (2,4)		0,9 (0,7)		<b>&lt;0,05</b>

**Legenda/Legend:** N = število oseb/number of participants, SO = standardni odklon/SD = standard deviation,  $\Delta$  = razlika znotraj skupine/within-group difference, PRED = ocenjevanje pred začetkom raziskave/BEFORE = assessment at the beginning of the study, PO = ocenjevanje po končani raziskavi/AFTER = assessment at the end of the study, COPM = kanadski test izvajanja dejavnosti/Canadian Occupational Performance Measure

posledico drugačno zaznavanje napredka. Jung in sod. (33) v svoji raziskavi, ki je metodološko podobna naši, niso opazili statistično značilnih razlik med učinkovitostjo robotsko podprtega gibanja in delovno terapijo pri osebah z vratno okvaro hrbtenjače za izboljšanje vsakodnevnih dejavnosti. Vendar Khalid, Alnajjar, Gochoo in sod. (26) navajajo ugoden vpliv robotsko podprtega gibanja na kakovost življenja preko več vključevanja v vsakodnevne dejavnosti. Zagotovo bi bilo v prihodnjih podobnih raziskavah za merjenje vključevanja v vsakodnevne dejavnosti smiselno uporabiti objektivni ocenjevalni instrument.

Glede na rezultate naše raziskave je za najboljši možen izid rehabilitacije oseb z nepopolno okvaro vratnega dela hrbtenjače priporočljiv dodatek robotsko podprtega gibanja h klasični delovni terapiji. Raziskava je imela zelo majhen in razmeroma heterogen vzorec sodelujočih, zato je treba njene izsledke interpretirati zadržano. Kljub temu so rezultati v skladu s trenutnim prepričanjem o uporabnosti robotsko podprtega gibanja pri osebah z okvaro vratnega dela hrbtenjače (26, 34), zato menimo, da imajo klinično vrednost vsaj za rehabilitacijske ustanove.

## ZAKLJUČEK

Rezultati naše raziskave nakazujejo, da bi robotsko podprto gibanje lahko predstavljalo učinkovito dopolnilno terapevtsko metodo klasični delovnoterapevtski obravnavi pri osebah z okvaro vratnega dela hrbtenjače za izboljšanje telesnih funkcij kot tudi kakovosti vključevanja v vsakodnevne dejavnosti. Za večjo veljavnost bi bilo treba izvesti podobne raziskave z večjim in bolj homogenim vzorcem.

## Literatura:

1. Bickenbach J, Boldt I, Brinkhoff M, Chamberlain J, Cripps R, Futzharris M, et al. A global picture of spinal cord injury. In: Bickenbach J, ed. International perspectives on spinal cord injury. Geneva: World Health Organization; 2013:11–42.
2. Bickenbach J, Biering-Sørensen F, Knott J, Shakespeare T, Stucki G, Tharion G, et al. Understanding spinal cord injury. In: Bickenbach J, ed. International perspectives on spinal cord injury. Geneva: World Health Organization; 2013:1–10.
3. Alizadeh A, Dyck SM, Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic spinal cord injury: an overview of pathophysiology, models and acute injury mechanisms. *Front Neurol.* 2019;10:282.
4. McDonald JW, Sadowsky C. Spinal-cord injury. *Lancet.* 2002;359(2):417–25.
5. Atkins MS, Bashar JC. Occupational therapy and the care of individuals with spinal cord injury. North Bethesda: AOTA; 2015. Dostopno na: <https://www.aota.org/-/media/Corporate/Files/AboutOT/Professionals/WhatIsOT/RDP/Facts/SCI-fact-sheet.pdf> (citirano 28. 1. 2022).
6. Atkins MS. Spinal cord injury. In: Radomsky MV, Latham CAT, eds. Occupational therapy for physical dysfunction. 7th ed. Philadelphia: Wolter Kluwer Health, Lippincott Williams and Wilkins; 2014:1168–214.
7. Sandrow-Feinberg HR, Houllé JD. Exercise after spinal cord injury as an agent for neuroprotection, regeneration and rehabilitation. *Brain Res.* 2015;1619:12–21.
8. Raineteau O, Schwab ME. Plasticity of motor systems after incomplete spinal cord injury. *Nat Rev Neurosci.* 2001;2(4):263–73.
9. Courtine G, Sofroniew MV. Spinal cord repair: advances in biology and technology. *Nat Med.* 2019;25:898–908. Dostopno na: <https://www.nature.com/articles/s41591-019-0475-6.pdf?origin=ppub> (citirano 28. 1. 2022).



10. Lu P, Tuszynski MH. Introduction to neuroscience letters special issue: Plasticity and Regeneration After Spinal Cord Injury. *Neurosci Lett*. 2017;652:1–2.
11. Backus D. Exploring the potential for neural recovery after incomplete tetraplegia through nonsurgical interventions. *PM R*. 2010;12 Suppl 2:S279–85.
12. Robotics. SCIRE. Dostopno na: <https://scireproject.com/evidence/rehabilitation-evidence/upper-limb/pharmacological-interventions/robotics/> (citirano 28. 1. 2022).
13. Duret C, Mazzoleni S. Upper limb robotics applied to neurorehabilitation: an overview of clinical practice. *NeuroRehabilitation*. 2017;41:5–15.
14. Mehrholz J, Pohl M, Platz T, Kugler J, Elsner B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;(11):CD006876.
15. Singh H, Unger J, Zariffa J, Pakosh M, Jaglal S, Craven BC, et al. Robot-assisted upper extremity rehabilitation for cervical spinal cord injuries: a systematic scoping review. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2018;13(7):704–15.
16. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *Ann Intern Med*. 2010;152(11):726–32.
17. Microsoft Excel for Mac (16.55) [Computer program]. Microsoft; 2022. Dostopno na: <https://office.microsoft.com/excel> (citirano 28. 1. 2022).
18. Karanicolas PJ, Farrokhyar F, Bhandari M. Practical tips for surgical research: blinding: who, what, when, why, how? *Can J Surg*. 2010;53(5):345–8.
19. Fawcett JW, Curt A, Steeves JD, Coleman WP, Tuszynski MH, Lammertse D, et al. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: Spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal Cord*. 2007;45(3):190–205.
20. What is GRASSP? GRASSP. Dostopno na: <https://grassptest.com/what-is-grassp/> (citirano 28. 1. 2022).
21. Yozbatiran N, Francisco GE. Robot-assisted therapy for the upper limb after cervical spinal cord injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2019;30(2):367–84.
22. Graded redefined assessment of strength, sensibility and prehension (GRASSP). SCIRE. Dostopno na: <https://scireproject.com/outcome-measures/list-sci/upper-limb/graded-redefined-assessment-of-strength-sensibility-and-prehension-grassp/> (citirano 28. 1. 2022).
23. Hand-held dynamometer: grip strength. Chicago: Abilitylab; 2022. Dostopno na: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/hand-held-dynamometer-grip-strength> (citirano 28. 1. 2022).
24. COPM: The Canadian Occupational Performance Measure. Dostopno na: <https://www.thecopm.ca/> (citirano 28. 1. 2022).
25. About the COPM. Dostopno na: <http://www.thecopm.ca/about/> (citirano 28. 1. 2022).
26. Khalid S, Alnajjar F, Gochoo M, Renawi A, Shimoda S. Robotic assistive and rehabilitation devices leading to motor recovery in upper limb: a systematic review. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2021:1–15 [v tisku]. doi: 10.1080/17483107.2021.1906960.
27. Vanmulken DAMM, Spooren AIF, Bongers HMH, Seelen HAM. Robot-assisted task-oriented upper extremity skill training in cervical spinal cord injury: a feasibility study. *Spinal Cord*. 2015;53(7):547–51.
28. Francisco GE, Yozbatiran N, Berliner J, O'Malley MK, Pehlivan AU, Kadivar Z, et al. Robot-assisted training of arm and hand movement shows functional improvements for incomplete cervical spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil*. 2017;96(10):171–7.
29. Cortes M, Elder J, Rykman A, Murray L, Avedissian M, Stampa A, et al. Improved motor performance in chronic spinal cord injury following upper-limb robotic training. *NeuroRehabilitation*. 2013;33(1):57–65.
30. Osuagwu BAC, Timms S, Peachment R, Dowie S, Thrussell H, Cross S, et al. Home-based rehabilitation using a soft robotic hand glove device leads to improvement in hand function in people with chronic spinal cord injury : a pilot study. *J Neuroeng Rehabil*. 2020;17(1):40.
31. Zbogar D, Eng JJ, Miller WC, Krassioukov AV, Verrier MC. Movement repetitions in physical and occupational therapy during spinal cord injury rehabilitation. *Spinal Cord*. 2017;55(2):172–9.
32. Zariffa J, Kapadia N, Kramer JLK, Taylor P, Alizadeh-Meghraz M, Zivanovic V, et al. Feasibility and efficacy of upper limb robotic rehabilitation in a subacute cervical spinal cord injury population. *Spinal Cord*. 2012;50:220–6.
33. Jung JH, Lee HJ, Cho DY, Lim J-E, Lee BS, Kwon SH, et al. Effects of combined upper limb robotic therapy in patients with tetraplegic spinal cord injury. *Ann Rehabil Med*. 2019;43(4):445–57.
34. Morone G, De Sire A, Cinnera AM, Paci M, Perrero L, Invernizzi M, et al. Upper limb robotic rehabilitation for patients with cervical spinal cord injury: a comprehensive review. *Brain Sci*. 2021;11(12):1630.

# ROBOTSKA VADBA PRI PACIENTU S POŠKODBO BRAHIALNEGA PLETEŽA – PRIKAZ PRIMERA

## ROBOT-ASSISTED THERAPY FOR PATIENTS WITH BRACHIAL PLEXUS INJURY – A CASE STUDY

Emma Zgonc, dipl. del. ter., Zdenka Prosič, dipl. del. ter., Klara Prislan, dipl. del. ter.,  
doc. dr. Primož Novak, dr. med.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

#### Izhodišča:

Poškodba brahialnega pleteža lahko povzroči nezmožnost gibanja zgornjega uda, izgubo občutenja in bolečine v zgornjem udu, kar vpliva na izvajanje ožjih in širših dnevnih aktivnosti. Armeo® Spring je prilagodljiv suspenzijski sistem za zgornji ud, ki je povezan z virtualno resničnostjo. V prispevku prikazujemo primer delovnoterapevtske obravnave pri pacientu s poškodbo brahialnega pleteža in rezultate robotske terapije po daljšem časovnem obdobju po poškodbi.

#### Metode:

Preiskovanec je 31-letni motorist, pri katerem so ugotovili motorični izpad v predelu od C4 do C6 desno. Navajal je tudi mravljinčenje in nevropatske bolečine po desni rami in desni nadlahti. Za ocenjevanje smo uporabili Kanadski test izvajanja dejavnosti (COPM), dinamometer, krajšo različico vprašalnika o funkcionalnosti zgornjega uda, ramena in roke (QuickDASH), Funkcijski test zgornjega uda (ARAT) ter meritve obsega gibljivosti na robotski napravi Armeo® Spring. Pacient je bil vključen v delovnoterapevtsko in robotsko terapijo.

#### Rezultati:

Ob začetku rehabilitacije je bila povprečna ocena izvedbe aktivnosti po COPM-u 2, ob zaključku 5,5. Začetna povprečna ocena zadovoljstva z izvedbo aktivnosti je bila 2 in ob zaključku 4,5. Jakost stiska pesti se je izboljšala. Pri prvem ocenjevanju QuickDASH se je uporabnik ocenil s 57 točkami in pri zadnjem s 60 točkami. Ocenjevanje ARAT je ob začet-

### Abstract

#### Background:

*A brachial plexus injury causes upper limb immobility, reduced sensitivity and causes pain sensation loss in the upper limb, resulting in difficulties performing basic and instrumental activities of daily living. The Armeo® Spring robotic device is an adjustable system for the upper limb. We present an example of an occupational therapy treatment in a patient with brachial plexus injury and the effects of robotic therapy after a longer period following the injury.*

#### Methods:

*The subject was a 31-year-old motorcyclist who sustained motor nerve impairment in the area from C4 to C6 on the right side. He also reported tingling and neuropathic pain in his right shoulder and upper arm. For assessment, we used the Canadian Occupational Performance Measure (COPM), dynamometer, the short form of the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand outcome measure (QuickDASH), the Action Research Arm Test (ARAT), and range-of-motion measurements of the Armeo® Spring device. The patient was involved in occupational and robotic therapy.*

#### Results:

*According to COPM, the average activity performance score was 2 in the beginning and 5.5 at the end of rehabilitation. Hand grip strength improved. The QuickDASH measurements increased by 3 points. At the beginning, the ARAT assessment showed deviations in all areas, but later only in pinch grip and*

ku rehabilitacije pokazalo odstopanja na vseh ocenjevanih področjih, kasneje pa le na področju pincetnih prijemov in grobih gibov. Glede na meritve na robotski napravi Armeo® Spring se je izboljšal obseg gibljivosti.

### Zaključek:

Rezultati študije primera kažejo, da je vadba na robotski napravi lahko koristna dopolnilna metoda pri rehabilitaciji pacientov po poškodbi brahialnega pleteža.

### Ključne besede:

rehabilitacija; delovna terapija; robotika

*gross movements. According to measurements on the Armeo® Spring, the range of motion improved.*

### Conclusion:

*The results show that therapy on a robotic device may be a useful complementary method in the rehabilitation of patients after brachial plexus injury.*

### Keywords:

*rehabilitation; occupational therapy; robotics*

## UVOD

Brahialni pletež tvorijo sprednje korenine spinalnih živcev hrbtenjačnih segmentov C5–C8 in T1. Oživčuje kožo in mišice hrbta, rame, nadlahti, podlahti in roke. Okvarjen je lahko posamezen ali več živcev (1). Poškodba brahialnega pleteža lahko povzroči nezmožnost gibanja zgornjega uda, izgubo občutenja in bolečine v zgornjem udu. Regeneracija je lahko popolna, lahko pa ostanejo trajne posledice. Izguba ali omejena funkcija zgornjega uda povzroči veliko težav pri izvajanju ožjih in širših dnevnih aktivnosti, kar močno vpliva na kakovost življenja. Za uspešno rehabilitacijo osebe z okvaro brahialnega pleteža je potrebna multidisciplinarna obravnava in intenzivne terapije. Ključnega pomena v terapijah predstavlja veliko število ponovitev gibov. Pri tem je pomembno, da zahtevnost nalog stopnjujemo in prilagajamo glede na pacientovo zmožnost in bolečino (2).

Robotska vadba ima v rehabilitaciji osebe s poškodbo brahialnega pleteža velik potencial. Ponavljajoče izvajanje nalog je namreč pri rehabilitaciji zgornjega uda (3, 4) dokazano učinkovito. Klasične oblike terapij izvedbo dejavnosti sicer pomembno izboljšajo, vendar imajo določene omejitve. Vadba s pomočjo navidezne resničnosti se vse pogosteje uporablja v rehabilitaciji, saj tehnologija postaja vedno bolj dostopna. Chen in sod. so ugotovili, da ta vadba statistično značilno vpliva na pacientovo vsakodnevno sodelovanje v terapevtskem programu (3). Kot razlog navajajo ciljno usmerjene naloge in veliko število ponovitev. Slednje je večkrat omenjena prednost robotske vadbe. V zadnjem desetletju je uporaba robotskih naprav za zgornji ud dobro vpeljana v rehabilitacijo na nevrološkem področju (5).

Armeo® Spring je prilagodljiv suspenzijski sistem za zgornji ud, ki je povezan z navidezno resničnostjo. Napravo predstavlja eksoskelet, ki podpira uporabnikovo roko in poveča vsako najmanjše gibanje, ki se pojavi v poškodovani roki v tridimenzionalnem prostoru. Na distalnem delu vključuje sistem za zaznavo jakosti prijema. Občutljivost sistema je nastavljiva glede na uporabnikove zmožnosti. Okolje navidezne resničnosti je oblikovano tako, da

ponuja različne nivoje težavnosti (smer gibanja, hitrost, območje gibanja) in storilnostno naravnane naloge. Sistem delovnemu terapevtu omogoča, da okolje prilagodi glede na uporabnikovo aktivno zmogljivost. Ponuja različne informacije gibanja (upor, moč, obseg giba in koordinacijo) za primerno prilagoditev uporabniku med celotno rehabilitacijo (6).

V URI – Soča zadnjih nekaj let uporabljamo robotsko vadbo zgornjega uda pri pacientih z okvarami perifernega živčevja, predvsem pri okvarah brahialnega pleteža. Pri pregledu literature smo ugotovili, da je na to temo zelo malo objav (2, 5). V prispevku smo zato želeli prikazati primer delovnoterapevtske obravnave pri pacientu s poškodbo brahialnega pleteža in ugotoviti, ali so učinki robotske terapije vidni tudi po daljšem časovnem obdobju po poškodbi.

Predstavitve je odobrila Komisija za medicinsko etiko URI – Soča.

## METODE

### Opis primera

31-letni desnični pacient se je 26. 5. 2020 poškodoval ob trčenju motorja z drugim vozilom. Urgentno je bil sprejet v bolnišnico, kjer so naslednji dan ugotovili nevrološki izpad v predelu od C4 do C6 desno. Opravili so magnetno resonančno slikanje (MR) rame in vratne hrbtenice, ki je pokazalo stanje po nategu ali delni rupturi mišice skalenus in zadebeljeno nitje desnega brahialnega pleteža v višini ključnice. Navajal je mravljinčenje in nevropatične bolečine po desni rami in desni nadlahti. 29. 5. 2020 so ga odpustili v domače okolje. Od drugih bolezni je imel še arterijsko hipertenzijo, sladkorno bolezen tipa 2 in debelost. Po poklicu je avtomehaničar in je redno zaposlen. Ob sprejemu na rehabilitacijo v URI – Soča 22. 6. 2020 je bila vidna začetna usahlost mišic ter izrazito zmanjšana moč mišic desnega ramenskega obroča in upogibalk komolca. Vključen je bil v program celostne rehabilitacije, ki je poleg klasičnega terapevtskega programa vključevala tudi vadbo s pomočjo robota. Elektromiografija, opravljena pri nas 21. 7. 2020,

je pokazala znake sveže nevrogene okvare v mišicah miotoma C5–C6 z znaki začetne reinervacije. V mišicah miotoma C7 je bil izvid praktično v mejah normale.

## Ocenjevalni instrumenti

Za prepoznavanje težav pri izvajanju aktivnosti/dejavnosti smo uporabili polstrukturiran intervju, Kanadski test izvajanja dejavnosti – COPM (*angl.* Canadian Occupational Performance Measure). Z njim uporabniki izpostavijo težave na različnih področjih: skrb zase (osebna nega, funkcionalna mobilnost, obvladovanje skupnosti), produktivnost (plačano/neplačano delo, obvladovanje gospodinjstva, igra/šola) in prosti čas (mirno ter aktivno razvedrilo, socializacija). Preko analize poteka običajnega dne uporabnik izpostavi najpomembnejše dejavnosti. Z 10-stopenjsko lestvico oceni svoje dožemanje izvedbe in zadovoljstva z izvedbo. Preko izbranih dejavnosti lahko delovni terapevti načrtujemo obravnave, ki so usmerjene k cilju in za posameznika pomembne (7).

Jakost stiska pesti smo izmerili z elektronskim dinamometrom (Jamar Patterson Medical, 2016), ki je preprost, zanesljiv in veljaven pripomoček za merjenje mišične jakosti in vzdržljivosti zgornjega uda. Uporablja se kot ocenjevalni instrument pri okvarah zgornjega uda. Slabša moč cilindričnega prijema je pokazatelj slabše funkcionalne zmožnosti. Normativi se določijo glede na spol, starost in dominanco uporabnika (8, 9).

Krajša različica vprašalnika o funkcionalnosti zgornjega uda, ramena in roke (*angl.* Disabilities of the arm, shoulder and hand – QuickDASH) je zanesljiv in veljaven samoocenjevalni instrument. Ima 11 vprašanj, ki se nanašajo na uporabo poškodovanega zgornjega uda v vsakodnevnih situacijah. Kot primeren ocenjevalni instrument za sledenje napredka je uporaben v različnih fazah rehabilitacije. Za točkovanje se uporablja Likertova lestvica od 1 do 5. Možen je rezultat 0–100. Rezultat 100 pomeni popolno odsotnost funkcionalne zmožnosti z resnimi simptomi, rezultat 0 pa odsotnost znakov funkcijske nezmožnosti (10).

Funkcijski test zgornjega uda (*angl.* Action Research Arm Test – ARAT) je ocenjevalni instrument, ki ocenjuje grobe, cilindrične in pincetne prijeme ter grobe gibe zgornjega uda. Vseh možnih točk je 57. 0 točk pomeni, da uporabnik ni zmožen izvesti zahtevanih nalog, 57 točk pa, da uporabnik brez odstopanj opravi vse naloge (11).

Za meritve obsega gibanja smo uporabili napravo Armeo® Spring, ki omogoča izvedbo giba addukcije, abdukcije, retrofleksije, antefleksije, zunanje rotacije, notranje rotacije rame, ekstenzije in fleksije komolca ter pronacije in supinacije podlahti. Omogoča tudi nastavitve odvzema teže ločeno na nadlahti in podlahti. Na nadlahti so stopnje odvzema teže od A do I, kjer A pomeni 0 % podpore, I pa omogoča 100 % razbremenitve teže. Na podlahti so stopnje podpore od A do E, kjer A pomeni 0 % podpore, E pa omogoča 100 % razbremenitve teže.

## Delovnoterapevtska obravnava

Uporabnik je bil od 22. 6. do 24. 8. 2020 v času hospitalizacije na URI - Soča vključen v delovnoterapevtsko obravnavo z robotsko vadbo na napravi Armeo® Spring. Rehabilitacija je potekala vsak dan od ponedeljka do petka, robotska obravnava je potekala v popoldanskem času, povprečno dvakrat tedensko, skupaj 15 vadb. Po zaključeni hospitalizaciji je bil od 1. 9. do 17. 11. 2020 vključen v ambulantno terapijo, v tem času je imel 20 robotskih obravnav. Sledila je daljša prekinitev, nato je od 6. 12. 2021 do 17. 1. 2022 opravil še sklop 10 robotskih obravnav. Skupno je imel 45 robotskih obravnav.



**Slika 1:** Uporabnik med robotsko terapijo na napravi Armeo® Spring.

**Figure 1:** User during robotic therapy on the Armeo® Spring device.

## REZULTATI

Uporabnik po poškodbi brahialnega plečeža je bil vključen v obravnavo na napravi Armeo® Spring. Ob začetku je potreboval 100 % odvzema teže tako na nadlahti kot na podlahti. Po 18 obravnavah na robotski napravi je bilo izvedeno vmesno ocenjevanje napredka. Takrat se je podpora robotske naprave na nadlahti zmanjšala za eno stopnjo, na stopnjo H. Podpora na nadlahti je dosegla stopnjo A, torej odvzem teže ni bil več potreben. Podpora robota na podlahti se je v času rehabilitacije zmanjšala za tri, na nadlahti za štiri stopnje. Izboljšala se je uporabnikova aktivna vključenost mišic zgornjega uda.

Ocenjevanje COPM je bilo izvedeno štirikrat. Povprečna ocena izvedbe se je v času hospitalizacije izboljšala za 4 točke, ocena zadovoljstva za 5,5 točke. Do naslednje meritve se je ocena izvedbe zmanjšala za 2 točki, ocena zadovoljstva za 3 točke. Po 10 terapijah je povprečna ocena izvedbe znašala 5,5, povprečna ocena zadovoljstva 4,5 (Tabela 1).



**Tabela 1:** Rezultati Kanadske metode ocenjevanja izvajanja dejavnosti (COPM).**Table 1:** Results of the Canadian Occupational Performance Measure (COPM).

Težave izvajanja dejavnosti/ Occupational performance problems	Točke izvedbe Scores for performance				Točke zadovoljstva Scores for satisfaction			
	8. 7. 20	28. 8. 20	1. 12. 21	17. 1. 22	8. 7. 20	28. 8. 20	1. 12. 21	17. 1. 22
Težja hišna opravila/ Heavier housework	3	7	4	6	3	10	5	5
Delo v službi/ Work	1	5	4	5	1	5	4	4
Povprečna vrednost/ Average value	2	6	4	5,5	2	7,5	4,5	4,5

Meritve jakosti stiska pesti so bile izvedene štirikrat. Moč stiska leve roke je bila pri vseh merjenjih v skladu z normativi. Moč stiska desnice je bila ob prvem ocenjevanju zmanjšana za približno polovico. Do drugega ocenjevanja se je moč izboljšala, nato po daljši prekinitvi ponovno nekoliko zmanjšala. Pri četrtem ocenjevanju ob zaključku rehabilitacije so bile vrednosti v obeh rokah v okviru normativov (Tabela 2).

**Tabela 2:** Rezultati merjenja jakosti stiska pesti.**Table 2:** Results of measurement of grip strength.

	Desna roka (kg)/ Right hand (kg)	Leva roka (kg)/ Left hand (kg)
Normativ/Normal value	54,8	50,1
8. 7. 2020	29	48,3
28. 8. 2020	47,1	52,6
1. 12. 2021	41,4	49,3
17. 1. 2022	53,5	52,4

Pri prvem ocenjevanju QuickDASH se je uporabnik ocenil s 57 točkami, ob koncu hospitalizacije se je rezultat izboljšal za 15 točk. Na tretjem ocenjevanju je njegov rezultat znašal 68 točk, ob koncu rehabilitacije 60 točk.

Ocenjevanje ARAT smo izvedli trikrat. Ob začetku rehabilitacije so se odstopanja pojavila na vseh ocenjevanih področjih, skupen rezultat ocenjevanja desne roke je znašal 19 točk. Na drugem ocenjevanju so se odstopanja pojavila le na področju pincetnih prijmov in grobih gibov. Skupno je dosegel rezultat 52 točk. Ob zaključku rehabilitacije je dosegel 53 točk (Tabela 3).

Armeo® Spring izmeri obseg gibljivosti, ki ga je uporabnik zmožen izvesti ob podpori robota. Ugotovili smo izboljšanje v vseh gibih zgornjega uda. Rezultate meritev obsega gibljivosti na robotski napravi Armeo® Spring ter spremembe zmognosti aktivnega gibanja v tridimenzionalnem prostoru predstavljamo v Tabeli 4.

**Tabela 3:** Rezultati funkcijskega testa zgornjega uda (ARAT).**Table 3:** Results of The Action Research Arm Test (ARAT).

Datum/ Date	Desna roka/Right hand				Skupno/ Total
	Grobi prijemi/ grasp	Cilindrični prijemi/ grasp	Pincetni prijemi/ pinch	Grobi gibi/gross movement	
8. 7. 2020	6/18	4/12	6/18	3/9	<b>19/57</b>
1. 12. 2021	18/18	12/12	15/18	7/9	<b>52/57</b>
17. 1. 2022	18/18	12/12	15/18	8/9	<b>53/57</b>

## RAZPRAVA

V prispevku smo prikazali primer vpliva obravnave z robotsko vadbo pri pacientu s poškodbo brahialnega pleteža na njegovo dejavnosti.

Z vprašalnikom COPM smo pridobili vpogled v dejavnosti, ki so uporabniku pomembne. Med rehabilitacijo se izbrane dejavnosti niso spremenile. V času hospitalizacije se je njegovo dožemanje izvedbe in zadovoljstva z izvedbo izbranih dejavnosti izrazito izboljšalo. To pripisujemo intenzivnim terapijam in celostni obravnavi. Po daljši prekinitvi in življenju v domačem okolju je izvajal izbrane dejavnosti. Ob tem smo ugotovili poslabšanje, kar pripisujemo večji kritičnosti in izkušnji v realnem kontekstu. Pri merjenju jakosti stiska pesti je viden napredek v sklopu strnjene rehabilitacije. V vmesnem času se je moč stiska v obeh rokah poslabšala. Ugotovljamo, da delovni terapevt načrtuje in strukturira strategije za krepitev moči, ki pomembno vplivajo na rezultat. Zgolj vključevanje v vsakodnevne aktivnosti v domačem okolju ne zadošča za vzdrževanje pridobljene jakosti stiska pesti.

Po zaključeni bolnišnični rehabilitaciji se je rezultat pri vprašalniku QuickDASH pomembno izboljšal. Po daljši prekinitvi se je rezultat poslabšal, verjetno zato, ker je pacient v domačem okolju prepoznal težave z izvedbo aktivnosti.

**Tabela 4:** Rezultati aktivnega obsega gibljivosti in gibanja v tridimenzionalnem prostoru (A-MOVE) na napravi Armeo® Spring.**Table 4:** Results of active range of motion and of active movement in tridimensional workspace (A-MOVE) on the Armeo® Spring device.

	9. 7. 2020	10. 9. 2020	6. 12. 2021	17. 1. 2022	Razlika/ Difference
Podpora nadlahti/Upper arm support	I	H	F	F	3 stopnje
Podpora podlahti/Forearm support	E	A	A	A	4 stopnje
Prostornina [cm <sup>3</sup> ]/Volume [cm <sup>3</sup> ]	78,343	151,188	430,675	400,834	322,491
Addukcija /Adduction	0°	0°	0°	0°	0°
Abdukcija /Abduction	27°	16°	18°	27°	0°
Retrofleksija /Retroflexion	40°	40°	40°	40°	0°
Antefleksija /Anteflexion	65°	70°	91°	124°	59°
Zunanja rotacija /External rotation	20°	33°	52°	52°	32°
Notranja rotacija /Internal rotation	82°	117°	120°	123°	41°
Ekstenzija komolca /Elbow extension	9°	14°	0°	0°	9°
Fleksija komolca /Elbow flexion	74°	104°	82°	105°	31°
Pronacija /Pronation	28°	70°	70°	70°	42°
Supinacija /Supination	62°	62°	63°	63°	1°

Pri ocenjevanju z ARAT je dosegel pomembno izboljšanje med prvimi in drugimi ocenjevanjem. Njegova izvedba nalog ob zaključku rehabilitacije pomeni minimalno odstopanje od normale. Na napravi Armeo® Spring je izvedel giba addukcije in retrofleksije v polnem obsegu gibljivosti že ob začetnem ocenjevanju. Pri gibu abdukcije ni prišlo do povečanja obsega gibljivosti, vendar se je enak obseg giba ohranil ob zmanjšani podpori robotske naprave. Največje izboljšanje je dosegel pri gibih antefleksije, pronacije, notranje rotacije, zunanje rotacije in fleksije komolca. Duret in sod. so v študiji primera odraslega moškega s poškodbo brahialnega plečja izvedli standardni program rehabilitacije z dodatkom robotske vadbe za zgornji ud (5). Ugotovili so izboljšanje kinematike gibanja v prvih šestih mesecih po operaciji. Naprava Armeo® Spring omogoča merjenje uporabnikovega dosega zgornjega uda v prostor. Dosežena prostornina se je izboljšala za 322,5 cm<sup>3</sup>. Tudi Cole in sod. so vključili robotsko terapijo v rehabilitacijo pacienta po poškodbi brahialnega plečja in ugotovili izboljšano kinematiko gibanja (2). Več avtorjev navaja prednosti stopnjevanja in prilagajanja količine pomoči v terapijah z robotsko vadbo, ki statistično pomembno vpliva na uporabnikovo sodelovanje v rehabilitaciji (3, 12). V delovnoterapevski obravnavi želimo pridobljeno gibanje na robotski napravi vključiti v izvedbo uporabniku pomembnih dejavnosti (2).

## ZAKLJUČEK

Rezultati študije primera kažejo, da je vadba na robotski napravi lahko koristna dopolnilna metoda pri rehabilitaciji pacientov po poškodbi brahialnega plečja. Robotska vadba namreč omogoča večje število ponovitev in razbremeni terapevta. Poleg tega poveča

motivacijo pacienta. Naprava zazna že minimalne spremembe v napredku funkcije roke in omogoča učinkovito vrednotenje učinkov terapije. Kljub navedenim pozitivnim učinkom robotske vadbe je za dober izid rehabilitacije pomembno vključevanje ostalih terapevtskih metod.

## Literatura:

1. Noland SS, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. Adult traumatic brachial plexus injuries. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27:705–16.
2. Cole T, Nicks R, Ferris S, Paul E, O'Brien L, Pritchard E. Outcomes after occupational therapy intervention for traumatic brachial plexus injury: a prospective longitudinal cohort study. *J Hand Ther.* 2020;33:528–39.
3. Chen B, Liang RQ, Chen RY, Xu FY. The effect of virtual reality training on the daily participation of patients: a meta-analysis. *Complement Ther Med.* 2021;58: 102676.
4. Remy-Neris O. Rehabilitation robotics: the role of the exoskeleton. *Ann Phys Rehabil Med.* 2011;54:236.
5. Duret C, Goubier JN, Renaudin A, Legrand C, Drouard P, Grosmaire AG, et al. Intensive upper limb therapy including a robotic device after surgically repaired brachial plexus injury: a case study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2019;55(4):534–6.
6. Colomer C, Baldoví A, Torromé S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J, et al. Efficacy of Armeo® Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurologia.* 2013;28:261–7.
7. Law M. COPM manual: the Canadian Occupational Performance Measure. 5th ed. Hamilton: Canadian Association of Occupational Therapists; 2019.

8. El-gohary TM, Abd Elkader SM, Al-Shenqiti AM, Ibrahim MI. Assessment of hand-grip and key-pinch strength at three arm positions among healthy college students: Dominant versus non-dominant hand. *J Taibah Univ Medical Sci.* 2019; 14:566–71.
9. Puh U. Age-related and sex-related differences in hand and pinch grip strength in adults. *Int J Rehabil Res.* 2010;33:4–11.
10. Kolber MJ, Salamh PA, Hanney WJ, Samuel Cheng M. Clinimetric evaluation of the disabilities of the arm, shoulder, and hand (DASH) and QuickDASH questionnaires for patients with shoulder disorders. *Phys Ther Rev.* 2014;9:163–73.
11. Puh U, Lubej S. Merske lastnosti funkcijskega testa zgornjega uda. *Fizioterapija.* 2017;25:9–20.
12. Nelson CA, Nouaille L, Poisson G. A redundant rehabilitation robot with a variable stiffness mechanism. *Mech Mach Theory.* 2020;150(12):103862.

# MODERN TECHNOLOGIES IN DYSPHAGIA REHABILITATION

## SODOBNE TEHNOLOGIJE PRI OBRAVNAVI MOTENJ POŽIRANJA

**prof. dr. Yoko Inamoto**

Faculty of Rehabilitation, School of Health Sciences, Fujita Health University, Japan

### Abstract

Advances in technology over the past decade have contributed to the development of dysphagia rehabilitation. New and innovative tools have been available in dysphagia clinic providing more precise understanding of pathophysiology and promoting the achievement of the eating activity.

For evaluation, swallowing CT is a groundbreaking technology that enables visualisation of swallowing three-dimensionally with excellent space resolution and with sufficient time resolution. 3D dynamic imaging and quantitative measures have resulted in dramatic advances in understanding of complex swallowing physiology and swallowing disorders, to determine clinical management, and for follow-up after treatment.

Kinetically, high-resolution manometry has been frequently utilised to obtain the pressure in pharynx and upper esophageal sphincter (UES) and to assess the pharyngeal driving force during the swallow. Concurrent recordings with videofluoroscopy promotes accurate treatment-oriented evaluation by allowing both kinetic and kinematic analysis.

Throughout the evaluation and treatment, »Swallow Chair« has been developed to adjust postures during swallowing. Accessibility of usage throughout evaluation and treatment solved the problem of reproducibility of recommended postures from evaluation to treatment. Swallow Chair is more than just the tool for compensation, it is the tool for efficiently promoting the improvement of swallowing function.

For treatment, double balloon has been introduced as a promising tool for treating dysphagia associated with cricopharyngeal dysfunction. The device consisting of inner spherical balloon and outer elliptical balloon helps to dilate the UES stricture more stably, efficiently, and non-invasively in swallowing therapy.

### Povzetek

*Napredek tehnologije v zadnjem desetletju je prispeval k razvoju rehabilitacije pri motnjah požiranja. Za klinično uporabo so na voljo nova orodja, ki omogočajo bolj natančno razumevanje patofiziologije in pomagajo pri doseganju uspešnega hranjenja. Ključna nova tehnologija na področju ocenjevanja je CT požiranja, ki omogoča trirazsežen prikaz požiranja z odlično prostorsko in zadostno časovno ločljivostjo. Trirazsežne dinamične slikovne tehnike in njimi povezane meritve so omogočile bistven napredek pri razumevanju kompleksne fiziologije požiranja in motenj požiranja, kar omogoča boljše klinično obravnavo in spremljanje po zdravljenju.*

*Glede kinetike se pogosto uporablja manometrija z visoko ločljivostjo za merjenje tlaka v žrelu in zgornji mišici zapiralki požiralnika (MZP) ter sile potiska požiralnika pri požiranju. Sočasno snemanje z videofluoroskopijo omogoča točno ocenjevanje, usmerjeno v zdravljenje, ki omogoča tako kinetično kot kinematično analizo.*

*»Požiralni stol« se uporablja skozi celotno ocenjevanje in zdravljenje za popravke drže pri požiranju. Razpoložljivost tega pripomočka skozi celoten potek ocenjevanja in zdravljenja je rešila problem obnovljivosti priporočene drže. »Požiralni stol« je več kot le orodje za nadomeščanje primanjkljajev; je orodje, ki učinkovito pripomore k izboljšanju funkcije požiranja.*

*Za zdravljenje motenj požiranja, povezanih z disfunkcijo hruštančnega dela požiralnika, se kot obetavno orodje uvaja dvojni balon. Napravo sestavljata notranji kroglasti balon in zunanji elipsoidni balon, ki pri zdravljenju požiranja pomagata razširiti skrčeno MZP bolj stabilno, učinkovito in neinvazivno.*

*Pred kratkim so uvedli magnetno stimulacijo za spodbujanje mišic nad podjezičnico kot neinvazivno in manj bolečo alternativo električni stimulaciji. Raziskave kažejo, da s periferno*



Most recently, magnetic stimulation has been introduced for promoting the suprahyoid activity as noninvasive and less pain intervention as an alternative to electrical stimulation. Studies are showing the achievement of sufficient hyoid elevation at rest through peripheral magnetic stimulation. Repetitive peripheral magnetic stimulation is expected to promote the hyolaryngeal elevation during swallowing as a new simple muscle strengthening exercise.

In this lecture, I will explain the features of these innovative tools as an assistive system and how to utilise them in swallowing rehabilitation to reconstruct eating.

**Key words:**

swallowing CT; kinetic and kinematic analysis; Swallow Chair; double balloon; magnetic stimulation

*magnetno stimulacijo dosežemo zadosten dvig podjezičnice v mirovanju. Ponavljajoča se periferna magnetna stimulacija naj bi spodbujala dvig podjezičnično-žrelni dvig med požiranjem kot nova in preprosta oblika vadbe za raztezanje mišic.*

*Na predavanju bom pojasnila značilnosti teh novih orodij v okviru podpornega sistema in razložila, kako jih uporabljati pri rehabilitaciji požiranja, da obnovimo zmožnost hranjenja.*

**Ključne besede:**

*CT požiranja; kinetična in kinematična analiza; »požiralni stol«; dvojni balon; magnetna stimulacija*

# NOVE TEHNOLOGIJE V NEVROPSIHOLOŠKI DIAGNOSTIKI IN PSIHOLOŠKI REHABILITACIJI

## NEW TECHNOLOGIES IN NEUROPSYCHOLOGICAL DIAGNOSTICS AND PSYCHOLOGICAL REHABILITATION

doc. dr. Urša Čižman Štaba, spec. klin. psih., dr. Barbara Starovasnik Žagavec, spec. klin. psih.,  
asist. Vida Ana Politakis, univ. dipl. psih., Vesna Mlinarič Lešnik, spec. klin. psih.,  
asist. Karmen Resnik Robida, univ. dipl. psih., dipl. zdr. psih., mag. nevr. zn.  
Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

V klinični psihologiji se vse več uporabljajo nove tehnologije tako v nevropsihološki diagnostiki in kognitivni rehabilitaciji kot tudi v psihoterapiji. Večina nevropsiholoških ocen vključuje vsaj en korak, ki ga upravljajo, ocenjujejo ali interpretirajo računalniki ali druge tehnologije. V prispevku je predstavljen nabor tehnoloških ukrepov, ki se vedno pogosteje uporabljajo tako v Sloveniji kot po svetu. V rehabilitaciji je najbolj razvejena uporaba novih tehnologij, kot so računalniški programi kognitivne rehabilitacije, navidezna resničnost, računalniško podprta nevropsihološka diagnostika, pametni telefoni in tablični računalniki. Najbolj uveljavljena tehnologija na tem področju je računalniško podprta nevropsihološka diagnostika, ki omogoča boljše ekološko veljavnost in ekonomičnost.

### Ključne besede:

nevropsihološka diagnostika; psihološka rehabilitacija; tehnologija; navidezna resničnost; kognitivna rehabilitacija

### Abstract

*In clinical psychology, technological innovations are increasingly being used in neuropsychological diagnostics, cognitive rehabilitation and psychotherapy. Most neuropsychological assessments involve at least one step of managing, assessing, or interpreting using computers or other technologies. The paper presents a set of technological interventions that are increasingly used both in Slovenia and around the world. Cognitive rehabilitation makes the most use of new technologies, such as computer software, virtual reality, computer-assisted neuropsychological diagnostics, smartphones and tablets. The most established technology in this field is computer-aided neuropsychological diagnostics, which enables better ecological validity and cost efficiency.*

### Key words:

*neuropsychological diagnostics; psychological rehabilitation; technology; virtual reality; cognitive rehabilitation*

### Preteklost in izziv sedanjosti

Prvi zametki uporabe računalniško podprtega ocenjevanja v nevropsihologiji segajo v 80. leta prejšnjega stoletja, danes pa se računalniško podprte metode večinoma uporabljajo v športni medicini, vojski in med poleti v vesolje (1). V nevropsihologiji se nove tehnologije lahko uporabljajo kot posodobitev sedanjih pristopov ali pa kot uvedba povsem novih ocenjevalnih oziroma terapevtskih pripomočkov, ki so namenjeni ocenjevanju ali treningu sposobnosti. Motivov za razvoj tehnologij je več, bistven

prispevek v nevropsihologiji je možnost vzporednega pridobivanja fizioloških mer oziroma fizioloških korelatov in natančnejših mer kognitivnih sposobnosti, ki jih lahko pridobimo prav s pomočjo tehnologije (npr. reakcijski časi, točnost odzivanja v odvisnosti od različnih pogojev, vzorci napak ipd.). Računalniške mere omogočajo tudi ponavljanje nalog in tako preverjanje sprememb pri posamezniku. Kot pomanjkljivost standardnih ocenjevalnih pripomočkov (tipa papir-svinčnik) se pogosto navaja šibkejša ekološka veljavnost in tako omejena neposredna prenosljivost spoznanj v vsakodnevno življenje. Predvsem podpora navidezne

resničnosti lahko omogoča ocenjevanje več nevropsiholoških sposobnosti, da se oceni kompleksnejši sklop spretnosti in vedenj, ki so lahko bolj podobni realnim zahtevam. Trenutna omejitev je manjša količina standardiziranih pripomočkov, ki temeljijo na uporabi računalnikov ali navidezne resničnosti. Vprašanje, koliko je uporaba norm, pridobljenih z načinom papir-svinčnik, primerljiva z računalniško pridobljenimi merami, namreč ostaja odprto. To je lahko posebno vprašljivo pri prosto dostopnih programih, ki so v okviru komercialne rabe uporabljeni bodisi za (samo)oceno kognitivnih funkcij ali za njihovo spodbujanje oziroma rehabilitacijo. Brez ustreznih merskih karakteristik, ki se določijo na podlagi uveljavljenih standardizacijskih postopkov, so informacije lahko zavajajoče, morebitni treningi sposobnosti pa vprašljive učinkovitosti, posebej če so začeti brez ustrezne predhodne ocene, zaradi česar je pomembna tudi zakonska regulacija ponudbe. Tako po eni strani aktualni izziv predstavlja pomanjkanje norm za ocenjevanje, po drugi strani pa lahko prav velike baze, ki jih je mogoče pridobiti s pomočjo tehnologije, predstavljajo bogat vir informacij za optimizacijo ocenjevanja, na primer s pomočjo računalniškega učenja ali teorije odgovora na postavko (1). Upoštevati je treba, da je pri uporabi računalniške tehnologije še vedno nujna prisotnost usposobljenega kliničnega psihologa, saj tehnologija ne more zajeti velikega spektra funkcioniranja posameznika. Velik izziv ocenjevanja tako ostajajo komunikacijske in jezikovne sposobnosti, ki so lahko tudi vpete v druge mentalne sisteme (npr. besedni spomin, načrtovanje). Vloga kliničnega psihologa je tako še vedno nepogrešljiva, saj lahko celostno in kakovostno obravnavo omogočita le dobra anamneza in opazovanje pacientovega odzivanja ter čustvovanja v povezavi z nastalo možgansko poškodbo, okvaro ali boleznijo.

## Nevropsihološka diagnostika

Ocenjevanje kognitivnih sposobnosti v okviru nevropsihološke diagnostike je bistveno za načrtovanje zdravljenja in rehabilitacije pacientov. Na področju kognicije ocenjujemo različne domene in njihove podsisteme: pozornost in zaznavanje, spominski sistem in učenje, vidno-prostorske sposobnosti, govorno-jezikovne sposobnosti in izvršilne sposobnosti. Pri tem poskušamo najti tiste specifične okvare, ki so odgovorne za moteno delovanje posameznika in katerih poznavanje je bistveno za načrtovanje zdravljenja.

V zadnjih letih nam je pri ocenjevanju kognitivnih sposobnosti vse bolj v pomoč računalniško podprta tehnologija, ki prinaša veliko prednosti, med katerimi so večja zanesljivost testiranja in učinkovitejša uporaba virov (tako človeških kot materialnih). Razvoj različnih računalniško podprtih testov je temeljil predvsem na potrebah nevropsihološke diagnostike, kjer je zaradi visoke specifičnosti primanjkljajev in številnih hkratnih okvar pacientovih funkcij potreba pa natančnem in usmerjenem merjenju še posebno izrazita. Kompleksni računalniški testni sistemi tako pogosto omogočajo merjenje posamičnih, visoko specializiranih procesov, ki jih s klasičnimi testi ne moremo izmeriti. Z računalniškim merjenjem in beleženjem reakcijskih časov na primer je natančno ocenjevanje pozornosti sploh postalo mogoče, saj testi papir-svinčnik merjenja reakcijskih časov ne omogočajo.

Poleg natančnejšega in bolj usmerjenega merjenja je pomembna prednost računalniško podprtih testov tudi časovna ekonomičnost. Po začetni razlagi pacienti sami rešujejo naloge (ob zadostnem številu računalnikov je mogoča tudi hkratna izvedba z več pacienti hkrati). Največji prihranek na času pa se kaže pri vrednotenju dosežkov na posameznih preizkušnjah in računanju različnih indeksov, ki so pri nekaterih preizkušnjah zelo kompleksni in od kliničnega psihologa po končani oceni zahtevajo veliko časa. Ne nazadnje je treba omeniti tudi ekonomičnost takega načina ocenjevanja, ki po začetnem nakupu ne predstavlja dodatnih stroškov in omogoča neomejeno število testiranj, ter okolju prijazno naravo testov, ki ne zahteva tiskanih različic nalog.

V URI - Soča pri nevropsihološki diagnostiki uporabljamo vedno več računalniško podprtih načinov ocenjevanja kognitivnih funkcij, med katerimi so nekateri pregledni testi, ki jih uporabljamo za identifikacijo pacientov, ki potrebujejo nevropsihološko obravnavo, ali za identifikacijo področij, pri katerih je potrebna širša obravnavo, drugi pa so usmerjeni na specifične kognitivne funkcije.

Na področju pozornosti je med najbolj uporabljenimi testna baterija za ocenjevanje pozornosti (*nem.* Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung – TAP) (2). Naloge zaznamuje nizka kompleksnost, kar omogoča usmerjeno merjenje posamičnih komponent pozornosti, po drugi strani pa izključuje vpliv senzoričnih, motoričnih, govornih, spominskih ali drugih primanjkljajev na uspešnost reševanja. Programska oprema je zasnovana na način, da od pacienta ob zaznavi tarčnega dražljaja zahteva le pritisk na tipko – reševanje nalog ni odvisno od uporabe dominantne roke. Dražljaji so vidni in slušni, pri tem pa so jezikovne zahteve minimalne (le razumevanje preprostih navodil). Merila uspešnosti so največkrat hitrost odzivanja in izpuščen ali napačni odzivi (število napak). S testno baterijo lahko merimo različne komponente pozornosti, med njimi preprosto odzivanje na dražljaje, selektivno pozornost, usmerjeno pozornost, deljeno pozornost, vzdrževano pozornost, poleg tega pa baterija omogoča tudi merjenje sposobnosti inhibicije, delovni spomin, pregledovanje vidnega polja, zmožnost miselne prožnosti idr. Posebej prirejena različica TAP-M je namenjena ocenjevanju različnih ravni pozornosti in drugih miselnih sistemov, ki jih vključuje kompleksna aktivnost, kot je na primer vožnja osebnega avtomobila (2). Z uporabo baterije TAP dobimo objektivne podatke o pacientovem funkcioniranju v preprostih in kompleksnih situacijah, o hitrosti miselnega procesiranja in o sposobnosti nadzora avtomatiziranih procesov. Zaradi multifaktorske narave pozornosti in njene vpetosti v širše kognitivno funkcioniranje, ki sestoji iz množice visoko specializiranih funkcij, ki nadzirajo naše vedenje, zaznavo in miselne procese, ima TAP pomembno vlogo v učinkovitem načrtovanju zdravljenja in oceni rehabilitacijskega potenciala.

Baterija za nevropsihološko ocenjevanje (*angl.* Neuropsychological Assessment Battery, NAB) (3) je obsežna baterija 33 podtestov. Sestavljena je iz šestih modulov. Pet glavnih modulov omogoča oceno petih kognitivnih domen: pozornost, jezikovne sposobnosti, spominski sistem, vidno-prostorske sposobnosti in izvršilne funkcije, šesti modul pa je pregledni in podaja le

presejalno oceno vsake izmed prej naštetih kognitivnih domen. Posamezne module lahko uporabimo ločeno ali pa vse skupaj, kar zagotavlja povečano fleksibilnost in omogoča usmerjeno oceno želenega področja. Računalniška različica vrednotenja baterije NAB omogoča poenostavljeno in avtomatizirano računanje surovih vrednosti, podajanje normativnih vrednosti (z-vrednosti, t-vrednosti, percentili, itn.) ter izdelavo kognitivnih profilov, ki pri standardni obdelavi zahteva veliko časa. Generira grafe profilov z možnostjo prekrivanja podatkov iz prejšnjih administracij NAB za posameznega pacienta, s čimer lahko spremljamo posameznikov kognitivni status.

Na področju merjenja spominskega sistema in zmožnosti učenja se uporablja kalifornijski test besednega učenja (*angl.* California Verbal Learning Test, CVLT) (4), ki omogoča računalniško podprto vrednotenje in generiranje profilov. Z njim merimo besedni spomin in sposobnosti besednega učenja, test pa je občutljiv na več različnih motenj in bolezni (5). S testom lahko ocenimo vkodiranje, kratko in dolgo odloženi priklic gradiva (prosti in z namigi) ter sposobnost učenja novega gradiva. S pomočjo računalniškega sistema vrednotenja lahko določimo tudi strategije, s katerimi se posamezniki učijo in prikličejo gradivo. Določimo lahko vpliv pozicije dražljajev, semantično grupiranje, intruzije, interferenco in prepoznavo (6).

Izvršilne sposobnosti zajemajo vse procese, ki vodijo in usmerjajo naše misli in vedenje v skladu s trenutnimi cilji, predvsem kadar avtomatizirani odgovorni vzorci ne zadostujejo zahtevam zaradi premajhne specifičnosti ali ker jih je treba zaradi neujemanja s ciljem preglasiti (7). Wisconsin test razvrščanja kart (*angl.* Wisconsin Card Sorting Test) (WCST) je med najpogosteje uporabljanimi nevropsihološkimi testi za ocenjevanje frontalne disfunkcije. Ker pa mora med testiranjem klinični psiholog stalno dajati povratne informacije, je zanesljivost testa zaradi variabilnosti in napak lahko pomembno zmanjšana. Računalniška verzija naloge je učinkovitejša, saj je programska oprema zasnovana tako, da pacienti na zaslonu dobijo povratno informacijo, kar izboljša zanesljivost testa, poleg tega pa je vrednotenje avtomatizirano (8).

Računalniško podprta tehnologija nam je torej v veliko pomoč pri ocenjevanju raznovrstnih kognitivnih funkcij. V zadnjih letih so veliki razvijalci in založniki psiholoških preizkušenj ustanovili spletne portale, na katerih lahko nevropsihologi izvajajo in vrednotijo teste, hranijo rezultate ter ustvarjajo profile pacientov (9), kar pomembno olajša in poenostavi delo. Kljub temu pa ne smemo pozabiti na kakovostni vidik nevropsihološke ocene, ki je njen sestavni del in vključuje celostno oceno strokovnjaka nevropsihologa.

## Kognitivna rehabilitacija

Kognitivna rehabilitacija vključuje postopke, ki obsegajo obravnavo kombinacije kognitivne, čustvene, motivacijske in medosebne oškodovanosti v okviru integriranega, načrtovanega in individualno prilagojenega programa. Danes je tudi v tej smeri opaziti tehnološki napredek, ki se pri izbiri tehnik dela zdaj že naslanja na specifične programske pakete (*angl.* pogovorno

»brain training, brain exercises ipd.), prilagojene pacientom s pridobljeno možgansko poškodbo, pogosto celo tudi kronično nevrološko boleznijo (Alzheimerjeva demenca, multipla skleroza, Parkinsonova bolezen itn.). Kognitivna rehabilitacija v svojem bistvu pomeni celosten pristop, pri katerem je urjenje kognitivnih procesov s pomočjo virtualnega okolja, programskih aplikacij ipd. le kamenček v mozaiku pacientovega kognitivnega okrevanja s funkcijo prenosa na novo osvojenih znanj ali obnovljene funkcije v vsakdanje zahteve (1, 10–14).

Prednost omenjenih programov je vsekakor pacientu prilagojeno urjenje specifičnih miselnih sposobnosti (npr. čuječnost, deljena pozornost, selektivna pozornost, logično sklepanje, vidno-prostorske sposobnosti) (10–12). Navadno so prav področja pozornostnega mentalnega sistema tista, ki dajejo najhitrejše in za pacienta zadovoljive rezultate. Tudi pregledne razisakve njihovo učinkovitost konsistentno navajajo kot srednjeročno uspešne (10–12).

Na trgu najdemo veliko prosto dostopnih aplikacij, ki brez prave osnove in predhodnega nevropsihološkega pregleda pogosto predstavljajo bolj učinek zabave in kakovostnega preživljanja prostega časa, saj reševanje le ene računalniške paradigme ne pomeni prenosa v vsakodnevno prakso kljub vedno boljšemu dnevnemu napredku, ki je viden iz rezultatov aplikacije. Učinkovitost kognitivne rehabilitacije se kaže pri uporabi programov, ki so znanstveno podprti in se izvajajo celostno, ob prisotnosti kliničnega psihologa, ki pacienta vodi v programu in mu podaja sprotne povratne informacije v okviru kognitivnega treninga.

Tako pacientu pomaga, da izboljša svoje veščine samoopazovanja in prepoznava težave, na primer, po kolikšnem času se začnejo javljati napake ali se zvišajo časi odzivnosti. Posledično se lahko v druge terapije umešča več potrebnih odmorov in odmikov od miselnih aktivnosti ter se s pomočjo povratnih informacij o napakah nauči nekaterih načinov, kako se spoprijeti s svojimi trenutnimi primanjkljaji (npr.: kaj zmore, česa trenutno še ne, kaj zaznava, česa trenutno ne opazi, kam bo treba usmeriti pozornost v vsakodnevnih opravilih).

Pri tem smernice v akutni fazi zagovarjajo krajše treninge (10–15 min) večkrat na dan, po šestih tednih pa od tri do petkrat na teden srečanja med 30 in 45 minutami. V pozni fazi rehabilitacije pa od tri do petkrat na teden v obdobju od treh do petih mesecev za 45 do 60 minut. Zadnja faza se lahko izvaja tudi v domačem okolju, če ima pacient na voljo ustrezno programsko opremo ter orodja (tablice, računalnik) (1, 15, 16).

Nekaj programov, ki so se uveljavili v tujini in so dobro podrti z dokazi učinkovitosti, uporabljamo tudi v Sloveniji. Programski paket Cogniplus je rehabilitacijski programski paket modulov za računalniško podprto kognitivno rehabilitacijo (18). Za tablične možnosti pacienti že dlje časa lahko uporabljajo različne naloge, ki so prosto dostopne na trgu iz sistema CogniFit ([www.cognifit.com](http://www.cognifit.com)) ali Lumosity ([www.lumosity.com](http://www.lumosity.com)).



Tovrstna rehabilitacija ob spoznavanju in sprejemanju posledic bolezni naj zato vedno vključuje tudi učenje strategij, kako se spoprijeti s primanjkljaji in kako jih je mogoče kompenzirati (npr. izogibanje nekaterim stresorjem, uporaba zunanjih pripomočkov, organizacija dneva na način, da se izognejo motečim dejavnikom, vključevanje odmorov, tehnike samoinstrukcije idr.), lahko samostojno ali s pomočjo, vključiti čim več pacientu pomembnih oseb in predvsem upoštevati njegov način življenja ter možnosti, ki mu jih ponuja okolje.

## Terapija z navidezno resničnostjo

Danes se v klinični praksi vse bolj in bolj uporablja tehnologija terapije z navidezno resničnostjo (NR), ki pacientom pomaga premagati tako duševne kot kognitivne motnje. Navidezna resničnost se nanaša na vsako tehnologijo, ki ustvarja simulirano izkušnjo prisotnosti v navideznem okolju, ki nadomešča fizični svet (17). Prednosti uporabe navideznih okolij v psihologiji izhajajo iz dejstva, da možgani obravnavajo gibanje v navideznem prostoru in spremljajoče zaznavne spremembe na približno enak način kot tiste v enakovrednem resničnem prostoru.

NR je računalniška simulacija, pri kateri ima posameznik občutek, da je v realnem okolju. Slika je vidna prek dveh zaslonov, saj ima vsako oko svoj zaslon, ki je vgrajen v okvir »virtualnih očal«. Senzorji v očalih zaznajo premik glave ali telesa ter povzročijo spremembo položaja gledanja posameznika. Uporabnik ima možnost uporabe dodatnih senzorjev za prepričljivejšo navidezno resničnost, kamor spadajo tudi podatkovne rokavice (18).

Začetki navidezne resničnosti segajo v 50. leta, ko je Morton Heilig napisal delo *Experience Theatre*, v katerem je vsem čutom ponudil izkušnjo iluzije, občutke vonja, okusa in tipa (19). Prvi, ki je izumil naglavni navidezni svet (*angl.* Head Mounted Display – HMD), je bil Ivan Sutherland leta 1968. Čelada, ki je skozi naglavna monitorja projicirala sliko neposredno pred očmi, je proizvajala stereoskopski učinek, perspektiva slike pa se je spreminjala glede na gibe glave uporabnika. Gledalec je tu prvič dobil občutek, da lahko interaktivno soustvarja tridimenzionalne podobe. Pomankljivosti naprave sta bili tedanja preslaba računalniška grafika in teža naprave, saj je bil model sestavljen iz številnih žic, ki so bile pritrjene na strop. V 80. letih so uporabo navidezne resničnosti poskusili tudi pri videoigrah, do razvoja pravega navideznega sveta pa je prišlo šele nekje konec 90. let.

Pomembna zgodba o uspehu je združitev tehnologije in psihoterapije, ki ima močno dokazano učinkovitost in je enakovredna osebemu zdravljenju duševnih motenj in psihosomatskih stanj (20, 21). V kognitivno-vedenjski terapiji (KVT) se uporablja že od 90. let prejšnjega stoletja, klinični potencial je podprt s kliničnimi rezultati (21). V vsakdanji praksi se NR-KVT uporablja za zdravljenje različnih fobij, kot so socialna fobija, akrofobija, fobija pred letenjem, strah pred vožnjo, klavstrofobija, agorafobija in arahnofobija, ter pri motnjah zaznavanja bolečine, motnjah hranjenja, avtizmu in spolni disfunkciji. Postopki, povezani z NR-KVT, so podobni tistim pri klasični KVT. Edina razlika se pojavi v fazi izpostavljenosti, ko si pacient nadene očala, ki so

povezana z računalnikom, in se izpostavlja v navidezno in ne v realno okolje. Očala omogočajo vidno in slušno zaznavanje, terapevt pa uporablja poseben računalniški program, ki omogoča manipuliranje z različnimi elementi v navideznem okolju ter tako pacientu omogoča postopno izpostavljenost dražljajem. Terapevt na računalniškem zaslonu vidi točno tisto, kar vidi pacient z očali. Gibi glave spreminjajo okolje, ki ga gledamo, s čimer se poveča občutek vživljanja. Terapevt spremlja pacientovo poročanje nelagodja in tako nadzoruje količino strahu, ki ga povzroča okolje (22).

Dve nedavni metaanalizi (17, 23), ki ocenjujeta več kot 53 sistematičnih pregledov uporabe NR v klinični psihologiji, kažeta učinkovitost uporabe NR-KVT pri anksioznih motnjah, motnjah hranjenja ter obvladovanju bolečin z dolgoročnimi učinki, ki se posplošujejo v resnični svet.

Specifične fobije so bile prve anksiozne motnje, ki so bile zdravljene z uporabo NR, njihova učinkovitost pa je zdaj podprta z več metaanalizami (24, 25). Metaanaliza Carla in sodelavcev (26) razširja dokaze o učinkovitosti uporabe NR pri socialno anksiozni motnji, posttravmatski stresni motnji in panični motnji. NR se uporablja tudi na več dodatnih področjih anksioznosti, od obvladovanja stresa (27, 28) do generaliziranih anksioznih motenj (29).

NR ima več prednosti pred metodo izpostavljanja v živo (30). Je pomemben vir osebne učinkovitosti, ker omogoča gradnjo »navideznih dogodivščin«, v katerih se oseba doživlja kot kompetentna in učinkovita. Med terapijo izpostavljanja NR posameznik odkrije, da je ovire in situacije, ki predstavljajo vir strahu, mogoče premagati s soočenjem in trudom. Prav tako je prednost uporabe navidezne resničnosti anonimnost pacienta, prihranek časa in ekonomičnost. Navidezni svetovi omogočajo ustvarjanje situacij ali elementov, ki jih v resničnem svetu ne bi izvajali, kot je na primer polet z letalom. Izpostavljenost NR omogoča skoraj popoln nadzor nad vsem, kar se dogaja v situaciji, ki jo oseba doživlja v navideznem svetu, vključno z različnimi elementi, ki lahko naredijo situacijo bolj ali manj ogrožajočo (npr. število ali velikost oseb, ki se bojijo, živali ali predmeti, višina prostorov, prisotnost zaščitnih elementov itn.). Še več, v NR je mogoče tudi modificirati pretekle izkušnje. Izpostavljenost v živo je lahko za paciente averzivna in lahko povzroči, da se počutijo zelo negotove, saj ni zagotovila, da ne bo šlo kaj narobe (npr. ustavljanje dvigala, tehnične težave na letalu itn.). Tako je varnost pomembna prednost NR. Pacienti lahko s terapevtom nadzorujejo kontekst in računalniško ustvarjeno okolje po želji in brez tveganja (31).

Ena glavnih težav navidezne resničnosti je občutek slabosti pri premikanju oziroma kibernetiska bolezen (21). Težava nastane, ker naš žiroskop upravlja notranje uho in imamo ob uporabi navidezne resničnosti enak občutek kot pri potovalni bolezni. Uporabniku se zdi, da se premika, čeprav stoji pri miru. Težave se pri nekaterih pojavijo že po 30 minutah uporabe navideznega okolja, pri nekaterih šele po več urah uporabe.

Dodatna spodbuda za raziskave in klinične aplikacije je razpoložljivost cenovno ugodne, komercialno dostopne strojne opreme NR. Pametni telefoni in 360-stopinjski videoposnetki bodo omogočili tudi razvoj nove generacije aplikacij NR za samopomoč, s katerimi bo zdravljenje blagih duševnih motenj dostopnejše posameznikom, ki nimajo dovolj časa ali denarja za osebni obisk psihologa.

V prihodnje bo treba razjasniti, kateri ljudje imajo lahko koristi od NR, na kakšen način in pri katerih psihopatoloških stanjih. Osrednji interes klinične psihologije je razumeti in obravnavati klinične pojave, dodatne tehnološke inovacije so samo orodje in pomoč pri doseganju terapevtskih ciljev.

## Pogled v prihodnost

Najpogosteje uporabljeni standardizirani testi za oceno nevropsihološkega funkcioniranja so bili večinoma razviti pred 50 do 150 leti (32). Dolgoletna uporaba tovrstnega instrumentarija nam omogoča, da so pristopi po svetu enotni, kar omogoča natančno normiranje pridobljenih podatkov in obsežen nabor raziskovalnih člankov, ki vedno znova preverjajo učinkovitost in opozarjajo na pomanjkljivosti posameznih uporabljenih merskih pristopov. Po drugi strani se moramo zavedati velikih napredkov v kognitivni nevroznanosti in razsežnosti dodatnih informacij, pridobljenih v tem obdobju, ki jih posamezni standardizirani testi ne upoštevajo (33). Že sama dostopnost primerjanja fizioloških korelatov z vedenjskimi preverjanji kognitivnega delovanja je v zadnjih 50 letih doživela razcvet in nam odpira nov vpogled v hierarhijo in delovanje kognitivnih konstruktov.

Ne samo digitalizacija kognitivnega ocenjevanja, temveč tudi napredki v psihometrični analizi pridobljenih podatkov nakazujejo, da se bo v naslednjih petih do deset letih nevropsihološko ocenjevanje posodobilo (34). Večdimenzionalni modeli nam bodo omogočili, da rezultate posameznih podtestov naneseemo na splošno dimenzijo ter tako ocenimo globalne primanjkljaje. Povezovalne metode (*angl.* test linking) bodo lahko pretvorile posamezne rezultate na skupno lestvico, ne glede na uporabljen diagnostični instrumentarij. Prav tako uporabna in zanimiva metoda kalibriranja ravni posameznikove sposobnosti (*angl.* Computerized Adaptive testing – CAD) bo lahko omogočila, da se naloge že med ocenjevanjem prilagajajo posamezniku, s čimer bomo lahko dobili najbolj informativno raven pacientovega funkcioniranja (npr. percentil) (34).

V pandemičnem svetu smo bili priča premiku v digitalizacijo na vseh področjih v zdravstvu. Tako so na primer leta 2020 začeli šest tako imenovanih »big data« kliničnih raziskav v Ameriki in Evropi, da bi pridobili veliko količino podatkov za boljše razumevanje subtilnih kognitivnih sprememb in vzorcev kognitivnega upada, kar bi s koreliranjem s slikovno diagnostiko lahko v nadaljevanju pomagalo pri zgodnejšem postavljanju diagnoze spominskih motenj. Z napredkom tehnologije je pričakovati, da se bodo glavni elementi odločanja in diferencialne diagnostike z vključitvijo algoritmov, ki povezujejo medicinsko in nevroznanstveno bazo podatkov, lahko izboljšali.

Pri terapevtskih ukrepih in kliničnopsihološkem ocenjevanju bo ne glede na spremembe, ki jih bo modernizacija omogočila, še vedno zelo pomembna vloga klinika, ki ocenjuje tudi kakovostno ter ponudi podporo in povratno informacijo. Na podlagi etičnih standardov bo vsak klinik presojal, ali je bilo za uporabo modernih tehnologij pri ocenjevanju kognitivnih funkcij podanih dovolj utemeljenih podatkov, ki kažejo na veljavnost testa, ter hkrati presojal lastno kompetentnost za uporabo modernih tehnologij. Za spremembo smernic nevropsihološkega ocenjevanja bo potrebno velikopotezno, svetovno koordinirano prizadevanje, ki bo potrebovalo zelo veliko investicijsko shemo, ki je trenutno tudi največje svetovne organizacije (npr. APA, International Neuropsychological Society) niso zmožne pokriti (34).

## Literatura:

1. Kane RL, Parsons TD. Introduction to neuropsychology and technology. In: Kane RL, Parsons TD, eds. *The role of technology in clinical neuropsychology*. New York: Oxford University Press; 2017: 3–26.
2. Zimmermann P, Fimm B. TAP-M - Test of Attentional Performance - Mobility version 1.2. 3rd version. Herzogenrath: Vera Fimm Psychogishe Testsysteme; 2007.
3. Gavett BE. Neuropsychological Assessment Battery. In: Kretutzer JS, DeLuca J, Caplan B, eds. *Encyclopedia of clinical neuropsychology*. New York; London: Springer; 2011.
4. Delis DC, Kramer JH, Kaplan E, Ober BA. CVLT-II, California verbal learning test: adult version. 2nd ed. [S. l.]: The Psychological Corporation; 2000.
5. Elwood RW. The California Verbal learning test: psychometric characteristics and clinical application. *Neuropsychol Rev*. 1995;5(3):173–201.
6. Strauss E, Sherman EMS, Spreen O. *A compendium of neuropsychological tests: administration, norms, and commentary*. 3rd ed. Oxford University Press; 2006.
7. Lustig C, Eichenbaum H, eds. *Cognitive control*. *Curr Opin Behav Sci*. 2015;1:1–120.
8. Keller F, Portman R, Durham R, Klebe K, Davis H. A comparison of computerized and standard versions of the Wisconsin Card Sorting Test. *Clin Neuropsychol*. 1999;13(3):303–13.
9. Kane R, Parsons T, eds. *The role of technology in clinical neuropsychology*. New York: Oxford University Press; 2017.
10. Wilson BA. *Neuropsychological rehabilitation: theory, models, therapy and outcome*. Cambridge; New York: Cambridge University Press; 2009.
11. Cumming TB, Marshall RS, Lazar RM. Stroke, cognitive deficits and rehabilitation: still an incomplete picture. *Int J Stroke*. 2013;8(1):38–45.
12. Cicerone KD, Langenbahn DM, Braden C, Malec JF, Kalmar K, Fraas M, et al. Evidence based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011;92(4):519–30.
13. Ng NF, Osman AM, Kerlan KR, Doraiswamy PM, Schafer RJ. Computerized cognitive training by healthy older and younger adults: age comparisons of overall efficacy and selective effects on cognition. *Front Neurol*. 2021;11:564317.
14. Redick TS, Shipstead Z, Harrison TL, Hicks KL, Fried DE, Hambrick DZ, et al. No evidence of intelligence improvement after working memory training: a randomized, placebo-controlled study. *J Exp Psychol Gen*. 2013; 142(2):359–79.

15. CogniPlus CPS Cognitive Training. Viena test system. Dostopno na: <http://www.schuhfried.at> Cognitive (citirano 25. 2. 2022)
16. Loetscher T, Potter KJ, Wong D, das Nair R. Cognitive rehabilitation for attention deficits following stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019(11):CD002842.
17. Riva G, Baños RM, Botella C, Mantovani F, Gaggioli A. Transforming experience: the potential of augmented reality and virtual reality for enhancing personal and clinical change. *Front Psychiatry*. 2016;7:164.
18. Scarfe P, Glennerster A. The science behind virtual reality displays. *Annu Rev Vis Sci*. 2019;5:529–47.
19. Vilas Boas YAG. Overview of virtual reality technologies. Dostopno na: [https://static1.squarespace.com/static/537bd8c9e4b0c89881877356/t/5383bc16e4b0bc-0d91a758a6/1401142294892/yavb1g12\\_25879847\\_final-paper.pdf](https://static1.squarespace.com/static/537bd8c9e4b0c89881877356/t/5383bc16e4b0bc-0d91a758a6/1401142294892/yavb1g12_25879847_final-paper.pdf) (citirano 25. 2. 2022).
20. Carlbring P, Andersson G, Cuijpers P, Riper H, Hedman-Lagerlöf E. Internet-based vs. face-to-face cognitive behavior therapy for psychiatric and somatic disorders: an updated systematic review and meta-analysis. *Cogn Behav Ther*. 2018;47(1):1–18.
21. Lindner P. Better, virtually: the past, present, and future of virtual reality cognitive behavior therapy. *IntJ Cogn Ther*. 2021;14:23–46.
22. Wallach HS, Safir MP, Bar-Zvi M. Virtual reality cognitive behavior therapy for public speaking anxiety: a randomized clinical trial. *Behav Modif*. 2009;3(33):314–38.
23. Riva G, Wiederhold BK, Mantovani F. Neuroscience of virtual reality: from virtual exposure to embodied medicine. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2019;22(1):82–96.
24. Powers MB, Emmelkamp PM. Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: a meta-analysis. *J Anxiety Disord*. 2008;22:561–9.
25. Opris D, Pinteș S, Garcia-Palacios A, Botella C, Szamoskozi S, David D. Virtual reality exposure therapy in anxiety disorders: a quantitative meta-analysis. *Depress Anxiety*. 2012;29(2):85–93.
26. Carl E, Stein AT, Levihn-Coon A, Pogue JR, Rothbaum B, Emmelkamp P, et al. Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Anxiety Disord*. 2019;61:27–36.
27. Pallavicini F, Argenton L, Toniuzzi N, Aceti L, Mantovani F. Virtual reality applications for stress management training in the military. *Aerosp Med Hum Perform*. 2016;87:1021–30.
28. Shah LB, Torres S, Kannusamy P, Chng CM, He HG, Klainin-Yobas P. Efficacy of the virtual reality-based stress management program on stress-related variables in people with mood disorders: the feasibility study. *Arch Psychiatr Nurs*. 2015;29(1):6–13.
29. Repetto C, Gaggioli A, Pallavicini F, Ciproso P, Raspelli S, Riva G. Virtual reality and mobile phones in the treatment of generalized anxiety disorders: a phase-2 clinical trial. *Pers Ubiquitous Comput*. 2013;17:253–60.
30. Riva G. Virtual reality in clinical psychology. In: Stein J. Reference module in neuroscience and biobehavioral psychology. Philadelphia: Elsevier; 2022.
31. Balzarotti S, Ciceri MR. News reports of catastrophes and viewers' fear: threat appraisal of positively versus negatively framed events. *Media Psychol*. 2014;17:357–77.
32. Rabin LA, Paolillo E, Barr WB. Stability in test-usage practices of clinical neuropsychologists in the United States and Canada over a 10-year period: a follow-up survey of INS and NAN members. *Arch Clin Neuropsychol*. 2016;31(3):206–30.
33. Collins FS, Riley WT. NIH's transformative opportunities for the behavioral and social sciences. *Sci Transl Med*. 2016;23(8):366–14.
34. Bilder RM, Reise SP. Neuropsychological tests of the future: how do we get there from here? *Clin Neuropsychol*. 2019;33(2):220–45.

# MODERNA TEHNOLOGIJA ZA PODORO IZVAJANJU DNEVNIH AKTIVNOSTI

## MODERN TECHNOLOGY FOR SUPPORTING ACTIVITIES OF DAILY LIVING

doc. dr. Metka Moharić<sup>1,2</sup>, dr. med., Katja Galič Brancelj<sup>1</sup>, dipl. del. ter., David Breclj<sup>1</sup>, viš. del. ter.

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

### Povzetek

Dogajajo se take spremembe starostne strukture svetovne populacije, zaradi katerih bo po svetu primanjkovalo negovalcev. Njihovo delo bo morala nadomestiti tehnologija. Tehnologija, ki podpira izvajanje osnovnih dnevnih aktivnosti na področju dolgotrajne oskrbe, še ni široko sprejeta. Na splošno lahko tehnologijo oziroma robote za podporo izvajanja dnevnih aktivnosti razdelimo v dve večji skupini. To so roboti za podporo in roboti za pomoč pri socializaciji. Tako za raziskovalce kot tudi razvijalce tehnologije na področju izvajanja dnevnih aktivnosti je nujno potrebno razumevanje tako robotike kot tudi potreb pri izvajanju dnevnih aktivnosti. Njena uporaba prinaša določene prednosti, pojavljajo pa se tudi nova vprašanja v povezavi z njeno uporabo in sprejemanjem. Verjetno nekaterih dnevnih aktivnosti nikoli ne bomo predali v roke tehnologiji, saj je človeški stik še vedno potreben.

### Ključne besede:

robotika; tehnologija; dnevne aktivnosti; socializacija

### Abstract

*There are changes in the age structure of the world's population that will lead to a shortage of caregivers around the world. Their work will have to be replaced by technology. Technology that supports the implementation of activities of daily living in the field of long-term care is not yet widely accepted. In general, technology or robots to support the implementation of daily activities can be divided into two major groups. These are support robots and socially assistive robots. For researchers as well as technology developers in the field of daily activities it is essential to understand both robotics and the needs associated with the activities of activities of daily living. The use of robotics brings some benefits, but new questions arise in connection with its use and acceptance. We will probably never hand over certain activities of daily living to technology, because human contact is still needed.*

### Keywords:

*robotics; technology; activities of daily living; socialization*

## UVOD

Ocenjujejo, da je bilo po svetu leta 2020 727 milijonov ljudi, starih 65 let ali več. Leta 2050 naj bi to število doseglo 1,5 milijarde (1). Nasprotno naj bi se svetovna stopnja rodnosti znižala z malo pod 2,5 poroda na žensko leta 2019 na približno 2,2 poroda na žensko leta 2050. Leta 2018 je bilo na svetu več ljudi, starejših od 65 let, kot otrok, starih do 5 let (2). Doživljamo torej neprimerljive spremembe starostne strukture svetovne populacije, zaradi katerih bo po svetu primanjkovalo negovalcev (3–5). Posledično bo njihovo delo morala nadomestiti tehnologija, za katero se iščejo rešitve (6–8). V zadnjem desetletju so razvili tehnologije za nego, podporo pri dnevni opravi in za oddaljeno spremljanje, ki pomagajo pri dolgotrajni oskrbi (9–15).

Uporaba tehnologije v odsotnosti skrbnikov ima pomemben vpliv na sposobnost samostojnega življenja starejše osebe ali osebe z zmanjšanimi zmožnostmi. Kljub temu pa tehnologija, ki podpira izvajanje osnovnih dnevnih aktivnosti (na primer kopanja/tuširanja, oblačenja, uporabe stranišča, premeščanja in hranjenja), na področju dolgotrajne oskrbe še ni široko sprejeta (16–20). Dokazi o sprejemanju tehnologij za izvajanje oskrbe oziroma o tem, zakaj so nekateri še posebej naklonjeni njeni uporabi, so omejeni in slabo razumljeni (13, 21, 22). Verjetno pa bo v prihodnosti drugače, saj bodo ljudje, ki sodobno tehnologijo uporabljajo že sedaj, postali starejši in bodo potrebovali tudi tehnologijo za podporo izvajanja dnevnih aktivnosti za dolgotrajno oskrbo. Pričakujemo lahko boljše sprejemanje. Trenutni dokazi so na voljo zgolj za ljudi v srednjih letih in starejše odrasle.

Prispelo: 31. 3. 2022

Sprejeto: 1. 4. 2022

Avtorica za dopisovanje / Corresponding author (MM): metka.moharic@mf.uni-lj.si



Na splošno lahko tehnologijo oziroma robote za podporo izvajanja dnevnih aktivnosti razdelimo v dve večji skupini. To so roboti za podporo in roboti za pomoč pri socializaciji.

## Roboti za podporo

Ti roboti so nastali s sodelovanjem robotskega inženiringa in podporne tehnologije. Dodatno jih razdelimo glede na funkcijo, ki jo opravljajo.

Roboti za pomoč pri premikanju pomagajo ljudem pri vodenju od ene točke do druge. Največjo korist od njih imajo ljudje z okvaro vida. Primer take tehnologije sta pametna palica in hodulja (*angl.* »SmartCane« in »SmartWalker«), ki zaznavata ovire in sestavita zemljevid okolice ter tako pomagata voditi uporabnika do mest, ki jih želi doseči (23). Druga vrsta naprav so prilagodljivi sistemi za podporo telesu, ki pomagajo pri hoji in stoji, ali pa celo robotski vozički, ki pomagajo ljudem pri varnem manevriranju skozi gnečo v nakupovalnih središčih ali na letališčih (8).

Ker so oskrbniki in medicinske sestre v ustanovah najbolj obremenjeni v času obrokov, so v ta namen razvili dve vrsti robotov. Eni pomagajo pri razdeljevanju obrokov, drugi pa pri hranjenju. Matsukoma in sodelavci (24) so razvili robota, ki v japonskih bolnišnicah pomaga pri navigaciji in raznašanju pladnjev s hrano in jih nato tudi sam zbere. »Handy 1« (25) je prvi nizkocenovni rehabilitacijski robot, ki ga uporabljajo (ali je uporaben) za več nalog, med njimi je tudi pomoč pri hranjenju. Podoben primer je robotski manipulator »4DoF«, ki pomaga pri lažjih nalogah, kot je nalivanje in serviranje kozarca vode (26). Poznane pa so tudi robotske žlice.

Pogosta težava izvajalcev oskrbe je bolečina v križu, predvsem zaradi premeščanja uporabnikov s postelje na voziček in obratno. To morajo morda narediti tudi več desetkrat dnevno. V ta namen so izdelali robota, ki premešča uporabnike s telesno težo do 65 kg iz postelje na voziček in obratno (*angl.* The Robot for Interactive Body Assistance, RIBA). Robotu navodila daje skrbnik z vodenjem z dotikom in ne preko običajne krmilne ročice (8). Omejitev teže je posledica tega, da so robota razvili na Japonskem. Za potrebe uporabe v ZDA so nosilnost povečali do 226 kg. Izdelali so tudi multifunkcionalno posteljo, ki se prilagaja različnim položajem telesa (sedenje, ležanje na boku). Uporabnika lahko podpre tudi v stoječem položaju, s pritiskom na gumb pa jo lahko spremenimo v invalidski voziček (8). Precej teh sistemov še vedno ostaja v konceptni obliki in še niso prerasli v serijsko proizvodnjo. Začasna rešitev za pomoč pri premeščanju so tudi različni »moverji«, ki pomagajo pri potiskanju bolniške postelje (8). Poleg tega lahko inteligen, motoriziran sistem stranišča omogoči ljudem njegovo samostojno uporabo (8).

Pomembno pomoč lahko roboti nudijo pri nadzoru posameznika, kar je še posebej pomembno pri osebah z demenco, ki potrebujejo posebno nego in nadzor (27). Taki roboti pomagajo oskrbnikom tako, da jim nudijo povratno informacijo v avdio ali video obliki (28). Lahko so izdelani v humanoidni obliki, sprejemajo alarme, krmarijo skozi zelene prostore v domovih za ostarele

ter pošiljajo slike in govorna sporočila. Raziskave so pokazale, da je odgovor oseba pri uporabi takih robotov hitrejši (29). Robotski sistemi za nadzorovanje lahko poleg zbiranja podatkov in spremljanja omogočajo tudi inteligentne opomnike za izvajanje dnevnih aktivnosti (8). Take robote lahko uporabljamo tudi za razbremenjevanje oskrbnikov, da jim ni treba neprestano nadzirati varovancev in beležiti njihovih vitalnih znakov. Sistem za spremljanje izločanja seča lahko nadzoruje količino seča, ki ga izloči varovanec, in opozarja v primeru urgentnih stanj ali pa samostojno izprazni urinske vrečke (8). Roboti za nadzor so uporabni tudi v domačem okolju. Eden izmed njih je »Home nursing robot«, ki zazna in procesira šest fizioloških parametrov (elektrokardiogram, nasičenost krvi s kisikom, krvni tlak, pulz, dihanje in telesno temperaturo) (8).

Poleg naštetih obstajajo še drugi tipi robotov za podporo, ki izvajajo različne naloge. Za osebe z zmanjšano zmožnostjo so izdelali robota za kopanje »Robot Bathtub« (30). Oseba se v njem okopa v ležečem položaju. Skrbnik pomaga varovancu pri slačenju in ga poleže na nosilec s kolesi, ki ga potisne v notranjost robotske kopeli. Robot varovanca umije od vratu do nog. Obstajajo tudi roboti za tuširanje in roboti za medicinske sestre inštrumentarke (8). Humanoidni robot »Nao« pa služi kot vaditelj za starejše. Posnemati zna predhodno določene človeške gibe, opazovati osebo, ki vadi, in ji posredovati povratne informacije (28). Uporabniki so bili z izkušnjo zadovoljni.

## Roboti za pomoč pri socializaciji

Psihološko dobro počutje je prav tako pomembno kot telesno. V ta namen so razvili robote, ki uporabnikom nudijo čustveno podporo, poleg tega pa jih tudi zaposlijo z miselnimi dejavnostmi. Otroci so populacija, ki neprestano potrebuje čustveno podporo in pozornost. Robotski tjulenjček »PARO« jih spremlja v bolnišnici, kadar je njihova mama odsotna (8). Otroci so bili po interakciji z robotom bolj sproščeni in srečnejši, zaradi česar so se izboljšali njihovi vitalni znaki (8). Roboti za čustveno podporo so popularni tudi v oskrbi starejših. Še posebej pri tistih, ki bivajo v domovih za ostarele, oddaljenih od njihovih najbližjih. Uporaba tjulenjčka je tudi pri starejših pokazala podobne rezultate kot pri otrocih (8). Podobno je bilo tudi z robotom »CuDDler« (8), ki so ga razvili za starejše z demenco in okvaro vida. So pa ugotovili, da lahko uporabniki robotske sisteme zamenjajo z živimi bitji (31). Pomemben dejavnik pri izboljšanju čustvenega stanja je lahko tudi, da se ljudje ukvarjajo s svojimi priljubljenimi aktivnostmi. To je glavni namen robota »MARIO« za ljudi z demenco, ki jim omogoča uporabo aplikacije, povezane z njihovim zanimanjem (npr. glasbo, igre, filme) (32). Potrebne so še dodatne raziskave, ali je bolje, da roboti izgledajo kot ljudje ali hišni ljubljenci. Še noben robot doslej pa ni mogel popolnoma nadomestiti človeške oskrbe. Eden izmed razlogov, zakaj izdelujejo robote v obliki hišnih ljubljencev, je tudi ta, da živali v bolnišnicah in drugih ustanovah niso dovoljene (8). Njihova uporaba tudi omogoča, da so ljudje, ki skrbijo zanje, zaradi odgovornosti bolj samozavestni.

Roboti za podporo pri socializaciji pa ne vplivajo zgolj na čustveno stanje, temveč tudi na vitalne znake. Z uporabo robota je namreč

lažje urejati vrednosti krvnega tlaka in frekvence srca (33). Ugotavljajo, da je za doseganje bolj zdravega odnosa med robotom in uporabnikom treba izboljšati predvsem dva dejavnika: robotov spomin in njegovo sposobnost izražanja čustev. To bo pomagalo ljudem pri sprejemanju odnosov z nečloveškimi bitji, hkrati pa preprečilo čustveno navezanost na humanoidne robote (8).

Med zdravljenjem in rehabilitacijo se osredotočamo na pacientovo telesno dobro počutje, kognitivni razvoj pa se velikokrat spregleda ali pa nimamo možnosti, da bi ga razvijali v celoti. Zato so razvili več robotov, ki lahko mentalno spodbujajo pacienta, ki mu manjka socialnih interakcij. Roboti lahko spodbujajo eno ali več oseb in lahko tako spodbujajo tudi interakcijo med pacienti (8).

## Sprejemanje tehnologije

Znano je, da tehnologije ne sprejemamo vsi ljudje enako. V raziskavi, narejeni na Japonskem pri srednje starih in starejših, se je izkazalo, da so tehnologijo za podporo izvajanja dnevnih aktivnosti lažje sprejemale ženske z univerzitetno ali višjo izobrazbo in višjimi dohodki (34). Poleg tega sta bili z večjim sprejemanjem uporabe tehnologije za izvajanje dnevnih aktivnosti povezani tudi uporaba socialnih omrežij in pripravljenost živeti v domu za ostarele, ko je potrebna dolgotrajna oskrba (34). Na splošno na sprejemanje novih tehnologij vpliva tudi predhodna uporaba različnih tehnologij, ni pa to povezano z uporabo računalnika (34). Slednje je mogoče tudi posledica dejstva, da so v raziskave vključili ljudi, ki sicer računalnika ne uporabljajo. Ne smemo zanemariti tudi družbe, v kateri ljudje živijo. Sprejemanje novih tehnologij je verjetno na Japonskem precej drugačno kot v Sloveniji ali kakšni drugi državi. Verjetno lahko računamo tudi na to, da bo tehnologija prej sprejeta v ustanovah za dolgotrajno oskrbo kot v lastnih domovih, čeprav bi si v osnovi želeli, da zaradi tehnologije dalj časa ostajamo v domačem okolju čim bolj samostojni.

Drugi dejavnik pri sprejemanju tehnologije je tudi njena sprejetost pri skrbnikih. Sedanje raziskave kažejo, da ti tehnologijo za izvajanje dnevnih aktivnosti mnogo težje sprejemajo (34). Morda zato, ker se zavedajo in bojijo različnih nesreč (npr. padci, aspiracije, varovanje zasebnosti). Lahko pa tudi zato, ker nimajo časa in priložnosti, da se naučijo uporabe take tehnologije. Vsekakor bo za ugotavljanje sprejemanja tehnologije treba izvesti dodatne raziskave.

Iz nabora tehnologij na področju izvajanja dnevnih aktivnosti je morda opazno tudi to, da nimamo tehnologij za lajšanje oblačenja in hranjenja. Očitno sta to dve dnevni aktivnosti, pri katerih je bolj zeleno, da ju izvaja človek, še posebej pri starejših. Na tak način uporabnik tudi uživa v interakciji s svojim skrbnikom.

## ZAKLJUČEK

Tako za raziskovalce kot tudi razvijalce tehnologije na področju izvajanja dnevnih aktivnosti je nujno potrebno razumevanje tako robotike kot tudi potreb pri izvajanju dnevnih aktivnosti. Določena tehnologija je že na voljo, vendar je velika večina naprav še

vedno v razvojnih fazah, manj v serijski proizvodnji in uporabi. Njena uporaba seveda prinaša določene prednosti, pojavljajo pa se nova vprašanja v povezavi z njeno uporabo in sprejemanjem. Verjetno nekaterih dnevnih aktivnosti nikoli ne bomo predali v roke tehnologiji, saj je človeški stik še vedno potreben.

## Literatura:

1. World population ageing 2020 highlights: living arrangements of older persons. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs. Dostopno na: [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesd\\_pd-2020\\_world\\_population\\_ageing\\_highlights.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesd_pd-2020_world_population_ageing_highlights.pdf) (citirano 26. 3. 2022).
2. World population prospects 2019: highlights. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs; 2019. Dostopno na: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf) (citirano 26.3.2022).
3. Martin LG. Population aging policies in East Asia and the United States. *Science*. 1991;251(4993):527–31.
4. Christensen K, Doblhammer G, Rau R, Vaupel JW. Ageing populations: the challenges ahead. *Lancet*. 2009;374(9696):1196–208.
5. Chen R, Xu P, Song P, Wang M, He J. China has faster pace than Japan in population aging in next 25 years. *Biosci Trends*. 2019;13(4):287–91.
6. Obi T, Ishmatova D, Iwasaki N. Promoting ICT innovations for the ageing population in Japan. *Int J Med Inform*. 2013;82(4):e47–62.
7. Mosca I, van der Wees PJ, Mot ES, Wammes JJG, Jeurissen PPT. Sustainability of long-term care: puzzling tasks ahead for policy-makers. *Int J Health Policy Manag*. 2017;6(4):195–205.
8. Maalouf N, Sidaoui A, Elhadj IH, Asmar D. Robotics in nursing: a scoping review. *J Nurs Scholarsh*. 2018;50(6):590–600.
9. Liu L, Stroulia E, Nikolaidis I, Miguel-Cruz A, Rios Rincon A. Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: a systematic review. *Int J Med Inform*. 2016;91:44–59.
10. Matthew-Maich N, Harris L, Ploeg J, Markle-Reid M, Valaitis R, Ibrahim S, et al. Designing, implementing, and evaluating mobile health technologies for managing chronic conditions in older adults: a scoping review. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2016;4(2):e29.
11. Wilkinson A, Tong T, Zare A, Kanik M, Chignell M. Monitoring health status in long term care through the use of ambient technologies and serious games. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2018;22(6):1807–13.
12. Hall A, Brown Wilson C, Stanmore E, Todd C. Moving beyond 'safety' versus 'autonomy': a qualitative exploration of the ethics of using monitoring technologies in long-term dementia care. *BMC Geriatr*. 2019;19(1):145.
13. Krick T, Huter K, Domhoff D, Schmidt A, Rothgang H, Wolf-Ostermann K. Digital technology and nursing care: a scoping review on acceptance, effectiveness and efficiency studies of informal and formal care technologies. *BMC Health Serv Res*. 2019;19(1):400.
14. Loncar-Turukalo T, Zdravevski E, Machado da Silva J, Chouvarda I, Trajkovic V. Literature on wearable technology for connected health: scoping review of research trends, advances, and Barriers. *J Med Internet Res*. 2019;21(9):e14017.
15. Steindal SA, Nes AAG, Godskesen TE, Dihle A, Lind S, Winger A, et al. Patients' Experiences of Telehealth in

- Palliative Home Care: scoping review. *J Med Internet Res.* 2020;22(5):e16218.
16. Martin S, Kelly G, Kernohan WG, McCreight B, Nugent C. Smart home technologies for health and social care support. *Cochrane Database Syst Rev.* 2008;(4):CD006412.
  17. Holthe T, Halvorsrud L, Karterud D, Hoel KA, Lund A. Usability and acceptability of technology for community-dwelling older adults with mild cognitive impairment and dementia: a systematic literature review. *Clin Interv Aging.* 2018;13:863–86.
  18. Pilotto A, Boi R, Petermans J. Technology in geriatrics. *Age Ageing.* 2018;47(6):771–4.
  19. Lesauskaitė V, Damulevičienė G, Knašienė J, Kazanavičius E, Liutkevičius A, Janavičiūtė A. Older adults-potential users of technologies. *Medicina (Kaunas).* 2019;55(6):253.
  20. Mitzner TL, Savla J, Boot WR, Sharit J, Charness N, Czaja SJ. Technology adoption by older adults: findings from the PRISM trial. *Gerontologist.* 2019;59(1):34–44.
  21. Greenhalgh T, Wherton J, Papoutsi C, Lynch J, Hughes G, A'Court C, et al. Beyond adoption: a new framework for theorizing and evaluating nonadoption, abandonment, and challenges to the scale-up, spread, and sustainability of health and care technologies. *J Med Internet Res.* 2017;19(11):e367.
  22. Valenzuela T, Okubo Y, Woodbury A, Lord SR, Delbaere K. Adherence to Technology-Based Exercise Programs in older adults: a systematic review. *J Geriatr Phys Ther.* 2018;41(1):49–61.
  23. Spenko M, Yu H, Dubowsky S. Robotic personal aids for mobility and monitoring for the elderly. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006;14(3):344–51.
  24. Matsukuma K, Yamazaki M, Kanda S, Maruyama T. An autonomous mobile robot for carrying food trays to the aged and disabled. *Adv Robot.* 2000;14(5):385–8.
  25. Topping M, Smith J. The development of Handy 1, a rehabilitation robotic system to assist the severely disabled. *Ind Rob* 1998;25(5):316–20.
  26. Lu G, Tao B, Liu J, Chen F, Shi J, Zhang Z. Introduction to the development of a robotic manipulator for nursing robot. In: Xie M, Xiong Y, Xiong C, Liu H, Hu Z, eds. *Intelligent robotics and applications.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2009:1085–96.
  27. Bäck I, Kallio J, Perälä S, Mäkelä K. Remote monitoring of nursing home residents using a humanoid robot. *J Telemed Telecare.* 2012;18(6):357–61.
  28. Görer B, Salah AA, Akin HL. An autonomous robotic exercise tutor for elderly people. *Auton Robots.* 2017;41(3):657–78.
  29. Petelin JB, Nelson ME, Goodman J. Deployment and early experience with remote-presence patient care in a community hospital. *Surg Endosc.* 2007;21(1):53–6.
  30. Beedholm K, Frederiksen K, Frederiksen AM, Lomborg K. Attitudes to a robot bathtub in Danish elder care: a hermeneutic interview study. *Nurs Health Sci.* 2015;17(3):280–6.
  31. Sharkey N, Sharkey A. The eldercare factory. *Gerontology.* 2012;58(3):282–8.
  32. Kouroupetroglou C, Casey D, Raciti M, Barrett E, D'Onofrio G, Ricciardi F, et al. Interacting with Dementia: the MARIO approach. *Stud Health Technol Inform.* 2017;242:38–47.
  33. Robinson H, MacDonald B, Broadbent E. Physiological effects of a companion robot on blood pressure of older people in residential care facility: a pilot study. *Australas J Ageing.* 2015;34(1):27–32.
  34. Itoh S, Miwa H, Xi Wu V, Okuyama A, Watanabe K, Ikeuchi T, Wakui T. Acceptance of care technologies to support activities of daily living by middle-aged and older adults in Japan: a cross-sectional study. *Int J Nurs Stud Adv.* 2021;(3):100042.

# UPORABA DIGITALNIH OSEBNIH POMOČNIKOV ZA LJUDI Z ZMANJŠANIMI ZMOŽNOSTMI – KRATEK PREGLED LITERATURE

## THE USE OF DIGITAL VIRTUAL ASSISTANTS FOR PEOPLE WITH DISABILITIES – A BRIEF LITERATURE REVIEW

dr. Mojca Debeljak, univ. dipl. inž.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

#### Izhodišča:

Področje umetne inteligence se širi v vsakdanje rešitve, ki ljudem omogočajo lažje oziroma bolj udobno življenje. V zadnjih letih se vse bolj uporablja digitalne osebne pomočnike (DOP), ki se jih lahko glasovno aktivira kot pomoč pri upravljanju informacijsko-komunikacijskih naprav ter preko pametnih zvočnikov. Z njimi lahko upravljamo funkcije pametnega doma, pridobimo informacije, poslušamo glasbo ali nastavljamo opomnike. Namen tega kratkega pregleda literature je bil preveriti, kako lahko digitalni osebni pomočniki ljudem z zmanjšanimi zmožnostmi in starejšim ljudem izboljšajo kakovost življenja na področju samostojnosti in osamljenosti.

#### Metode:

Raziskave smo poiskali v podatkovni zbirki PubMed z iskalnim izrazom »digitalni osebni pomočnik« in (»osebe z zmanjšanimi zmožnostmi« ali »starejše osebe«) in (»socialna izoliranost« ali »osamljenost« ali »kakovost življenja« ali »samostojnost«) v angleščini ali slovenščini. Sistematičen pregled literature smo izvedli po smernicah PRISMA.

#### Rezultati:

V končno analizo je bilo od 140 najdenih po pregledu vključenih 8 člankov, ki so ustrezali merilom. Članki so podpirali uporabo DOP za starejše predvsem za nastavitve opomnikov ter kot »družabnikov« za manjši občutek osamljenosti in socialne izolacije. DOP za slepe in slabovidne, gibalno ovirane in starejše osebe lahko premošča pomanjkanje dostopnosti pri

### Abstract

#### Background:

*The field of artificial intelligence is expanding into many solutions that make people's lives easier or more comfortable. In recent years, virtual assistants (VA) are increasingly used, either voice-activated through information and communication devices or through smart speakers. A VA can be used to control the functions of a smart home, find some information, listen to music or to set up reminders. The purpose of this brief literature review is to examine the extent to which VA can improve quality of life for people with disabilities, including older people in terms of independence and loneliness.*

#### Methods:

*The PubMed database was searched using the search string »(virtual assistant or voice assistant or conversational agent or digital assistant) and (people with disabilities or older people) and (social isolation or loneliness or quality of life or independence)«. Papers in English or Slovenian were sought. A systematic review was conducted in accordance with the PRISMA guidelines.*

#### Results:

*In the final analysis, out of the 140 found, 8 papers were included that fulfilled the inclusion criteria. Those papers supported the use of VA for the elderly mainly for setting-up reminders and as »companions« to reduce the feeling of loneliness and social isolation. VA for visually impaired, the motor disabled and older people can bridge some accessibility issues with other devices.*



drugih napravah. Literature v slovenščini za uporabo DOP za starejše in ljudi z zmanjšanimi zmožnostmi nismo našli.

### Zaključki:

DOP lahko doprinesejo k boljši kakovosti življenja ljudi z zmanjšanimi zmožnostmi in starejših oseb, vendar je treba področje dodatno raziskati ter postaviti okvire, smernice in predpise. Komercialni DOP trenutno še niso dostopni v slovenščini.

### Ključne besede:

digitalni osebni pomočnik; ljudje z zmanjšanimi zmožnostmi; starejši; osamljenost; socialna izoliranost; kakovost življenja

*No literature in Slovenian language about the use of VA for older people or people with disabilities was found.*

### Conclusion:

*Voice-activated virtual assistants can contribute to a better quality of life for people with disabilities and older persons. However, there is a need for further research in this area, together with addressing the need for frameworks, guidelines, and regulations. Commercial VA are still not available in Slovenian language.*

### Keywords:

*virtual assistant; people with disabilities; older people; loneliness; social isolation; quality of life*

## UVOD

Področje umetne inteligence (AI) se širi v vsakdanje rešitve, ki ljudem omogočajo lažje oziroma bolj udobno življenje. Ena izmed rešitev, ki se v zadnjih letih vse bolj uporablja v vsakdanjem življenju, tako pri upravljanju informacijsko-komunikacijskih naprav kot tudi preko vmesnikov okolja, so digitalni osebni pomočniki (DOP), ki se lahko aktivirajo z glasom. Z njimi lahko upravljamo funkcije pametnega doma preko televizije, tablice ali pametnega telefona. Obstajajo samostojne naprave za upravljanje z glasom, kamor so vključeni DOP, kot so pametni zvočniki. Možnosti upravljanja gredo od daljinskega odpiranja garažnih vrat, pregleda vhoda preko kamere v živo, znižanja temperature na termostatu, predvajanja glasbe, iskanja informacij do nastavitev opomnikov. Za povprečne ljudi to predstavlja udobje, za ljudi z zmanjšanimi zmožnostmi ali starejše osebe, ki imajo funkcionalen govor, pa lahko DOP predstavljajo večjo samostojnost in kakovost življenja. V zadnjih dveh letih, v času popolnih zaprtij, se je pri ljudeh z zmanjšanimi zmožnostmi, kamor spadajo tudi nekateri starejši ljudje, pojavil problem socialne izolacije in osamljenosti. Raziskava (1) kaže, da je že pred epidemijo koronavirusne bolezni 24 % ljudi, starih nad 65 let, v Združenih državah Amerike (ZDA) čutilo osamljenost in socialno izoliranost. Raziskava (2), narejena leta 2012, prav tako kaže, da je bilo v ZDA že takrat 43 % starejših oseb osamljenih, kar ima za posledico hitrejši upad funkcionalnih sposobnosti in smrt (2).

Pojav AI lahko ponudi priložnost za lajšanje socialne izolacije in osamljenosti starejših odraslih pri izboljšanju zdravja. S povečano razpoložljivostjo spletnih podatkov in tehnološkim napredkom so se pojavili komercialno dostopni, glasovno upravljani DOP, ki jih tržijo podjetja, kot so Amazon (DOP Alexa), Google (DOP Google Assistant) in Apple (DOP Siri), in so že približno 8 let dostopni na samostojnih napravah – pametnih zvočnikih. Ti DOP so razmeroma poceni in so lahko še posebej uporabni za ljudi, ki tehnološko niso dovolj pismeni, imajo slabši vid ali so gibalno ovirani (3). S pomočjo glasovno upravljanih DOP uporabniki lahko

poslušajo glasbo, dobijo informacije in nastavijo opomnike (4), ki so pomembni za obiske pri zdravniku, jemanje zdravil in opravke. Aplikacije, ki jih uporabniki dosežejo preko DOP, pomagajo tudi pri kognitivni stimulaciji (5), izboljšanju počutja (6) in zmanjšujejo dolgočasje (7). Prav tako so ugotovitve raziskave na 50 pacientih z zdravstvenimi težavami ali odvisnih od pomoči drugih oseb (7) potrdile, da pacienti s pomočjo DOP Alexe poročajo, da lažje vzdržujejo zdravstveno stanje in so bolj samostojni v življenju. DOP naj bi tako obetali tudi večjo socialno vključenost z videoklici in nadomestno druženje, ko nikogar ni na voljo – z namenom zmanjšanja občutka osamljenosti (7).

Uporaba DOP za ljudi z zmanjšanimi zmožnostmi odpira tudi etična vprašanja, kot je dostopanje do zdravstvenih informacij glede simptomov, t. i. *Google zdravniki*, kar lahko poveča obremenitev zdravstvenega sistema zaradi nepravilnega, pretiranega samodijagnosticiranja, po drugi strani pa imajo velika podjetja dostop do zdravstvenih informacij uporabnikov (8, 9). Naslednja postavka z etičnega vidika je glede možnosti nakupa DOP, saj nimajo vsi dostopa in dovolj finančnih sredstev za take naprave (10). Nekateri zdravstveni sistemi so v dolgoročnem načrtu navedli več sredstev za predpisovanje »socialnih« storitev, ki dokazano izboljšujejo zdravstveno stanje. Vsekakor so za uporabo DOP v socialne in zdravstvene namene potrebni dobri regulativni ukrepi za zaščito podatkov bolnikov.

Namen pričujočega prispevka je bilo pregledati literaturo, kako lahko DOP ljudem z zmanjšanimi zmožnostmi ter starejšim osebam pomagajo pri osamljenosti in socialni izoliranosti ter pri povečanju samostojnosti in kakovosti življenja.

## METODE

Sistematičen pregled literature smo izvedli po smernicah PRISMA (11). Obdobje iskanja je bilo omejeno na članke, ki so bili objavljeni od februarja 2010 (ko je zaživel prvi DOP – Siri)

do februarja 2022. Izrazi za iskanje so bili »digitalni osebni pomočnik« in »osebe z zmanjšanimi zmožnostmi« ali »starejše osebe« in »socialna izoliranost« ali »osamljenost« ali »kakovost življenja« ali »samostojnost« (*angl.* (virtual assistant) OR (voice assistant) OR (conversational agent) OR (digital assistant)) AND (people with disabilities) OR (older people) AND (social isolation) OR (loneliness) OR (quality of life) OR (independence)). Pri novejših tehnologijah, kot je DOP, še ni skupnega izraza v podatkovnih bazah, zato je bilo uporabljenih več izrazov. Iskanje smo opravili v elektronski podatkovni bazi PubMed z uporabo kombinacij podobnih izrazov. Za pregled smo uporabili članke, ki so bili objavljeni v časopisu z recenzijo, napisani v angleščini ali slovenščini in katerih vsebina je bila sorodna uporabi DOP za pomoč ljudem z zmanjšanimi zmožnostmi in starejšim glede osamljenosti, socialne izolacije, pri samostojnosti ali izboljšanju kakovosti življenja. Vsak primeren članek smo ocenili na osnovi vključitvenih kriterijev.

## REZULTATI

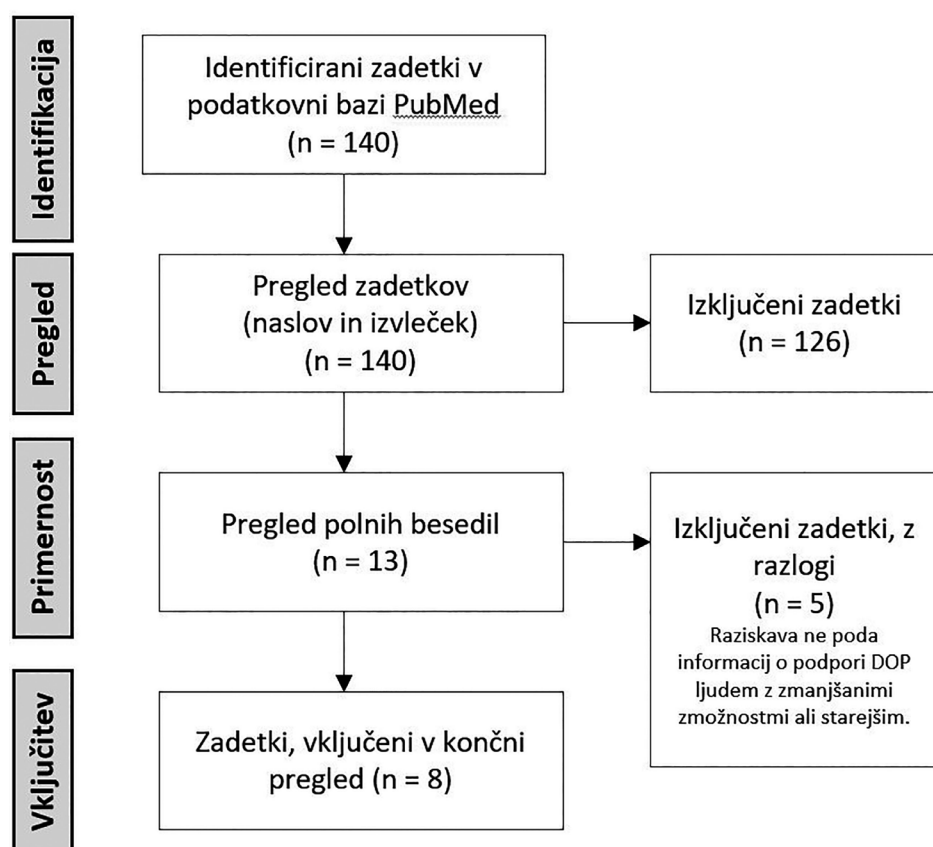
Na podlagi iskalnih izrazov smo v zbirki PubMed našli 140 člankov. Po prebiranju naslovov in povzetkov je iskanju ustrezalo 13 člankov, po pregledu celotnih člankov pa jih je ostalo osem. Med naborom ni bilo člankov, narejenih na slovenski populaciji ali napisanih v slovenščini. Proces pregleda literature po smernicah PRISMA je prikazan na Sliki 1.

Razlogi, zakaj je bilo po pregledu celotnih člankov pet ovrženih, so napisani v nadaljevanju. Pregledni članek Federicija in sodelavcev (12) sicer v uvodu navede, da ljudje z zmanjšanimi zmo-

žnostmi s podpornimi sistemi umetne inteligence (*angl.* chatbot), ki so malo manj kot DOP, lahko imajo koristi na področju vadbe različnih kompetenc in pri upravljanju svojega dobrega počutja. V rezultatih in zaključku pa poudari, da ni postavljenih okvirjev za ocenjevanje kakovosti interakcije ter da še ni zanesljivih orodij in sistematičnih metod za ocenjevanje, ki bi obravnavali to pri ljudeh z zmanjšanimi zmožnostmi, zato ni bila uvrščena v pregled.

Raziskava etike in sprejemanja pametnih domov za starejše (13) je obetala uvrstitev, saj se pri upravljanju pametnega doma lahko uporabi tudi pametni zvočnik z DOP, ki je predvsem za starejše bolj uporaben vmesnik. V tej raziskavi so tudi definirali pametni dom kot dom, ki ima sistem, ki vključuje eno ali več podpornih tehnologij, vendar se je izkazalo, da je namen raziskave ustvariti priporočila razvijalcem in raziskovalcem za razvoj podpornih sistemov v pametnih domovih ter da konkretne izkušnje z uporabo DOP niso predstavljene, zato ni bila uvrščena v pregled.

V raziskavi Mosquera-DeLaCruz in sodelavcev (14) so predstavili interakcijo z brskalnikom Chrome, e-pošto Gmail in socialnimi omrežji z aktivacijo z govorom ali kretnjami. Čeprav DOP niso omenjeni, je upravljanje navedenih storitev z glasom preizkušala tudi skupina sedmih gibalno oviranih ljudi (s poškodbami hrbtenjače med C3 in C7) ter so bili za glasovno upravljanje zelo dovzetni. Tudi v zaključkih je pisalo, da uporaba glasovnega upravljanja storitev povečuje kakovost življenja gibalno oviranim osebam, saj jim omogoča dostop do informacijskih in komunikacijskih tehnologij. Raziskava je zanimiva zaradi zaključkov, ki so podobni kot pri uporabi DOP, vendar ker jih ne omenja, ni bila vključena. Raziskava Gauthier in ostali (15) omenja možnost uporabe digitalnih orodij (*angl.* digital tools) za zmanjšanje socialne izoliranosti



Slika 1: Rezultati pregleda literature po smernicah PRISMA.

Picture 1: Results of literature review according to PRISMA guidelines.

in osamljenosti. Po pregledu celotnega članka se je izkazalo, da so v izraz digitalna orodja vključevali pametne telefone, tablice in računalnike; DOP ali pametni zvočniki niso niti omenjeni, zato ta raziskava ni bila vključena. V referencah (15) je tudi pregled iz leta 2016, ki ugotavlja, da IKT za nekatere starejše lahko zmanjša socialno izoliranost in osamljenost, vendar so potrebne nadaljnje raziskave (16).

Raziskava Colomba in sodelavcev (17) je bila iz pregleda izločena, saj v naboru informacijskih in komunikacijskih tehnologij za starejše ne omenja DOP.

Martin-Hammond s sodelavci (18) opisuje prepričanja starejših odraslih glede potencialne uporabe DOP za upravljanje informacij o zdravju potrošnikov ter na kakšen način bi jih upravljali, ne pove pa nič o dejanski uporabi/učinku DOP, zato v pregled ni bila vključena.

Raziskave, ki smo jih vključili v ta pregled, so bile pregledne, opisne in/ali so uporabljale primerne vzorce. Raziskava Corbettove in sodelavcev (3) je ugotovila, da komercialni pametni zvočniki z DOP (Amazon Echo v štirih raziskavah, Google Nest v eni raziskavi) pri starejših osebah vplivajo na socialno izolacijo in osamljenost. Rezultati preko številnih raziskav, sicer z majhnimi vzorci, vendar narejenih v različnih državah, kažejo, da starejše osebe pametne zvočnike z DOP obravnavajo kot nekakšne »sopotnike« ter da DOP izboljšujejo njihovo socialno povezanost in zmanjšujejo osamljenost. Uporabniki so želeli več strukturiranega usposabljanja za uporabo teh naprav. Uporabljali so jih v različnih študijah od treh tednov do 18 mesecev.

Kratek pregled Vollmer Dahlke in Ory (19) omenja »inteligentne podporne tehnologije« – IPT (*angl.* intelligent assistive technologies), ki se jih aktivira z glasom (vključujoč DOP, kot so Siri, Alexa/Echo, Google Home). Izsledki pregleda se ujema s številnimi drugimi preglednimi članki (20–22), ki naslavljajo potrebe po okvirjih, smernicah in predpisih na področju IPT, tudi za njihovo sprejemanje s strani negovalcev in oseb z demenco. Poudarja da je potencial IPT za ljudi z demenco ogromen pri podpori pri samostojnosti in varnosti; hkrati pa omenja, da so IPT lahko uporabljene tudi na napačen način – da omejujejo pravice, zasebnost, dostojanstvo in svobodo ljudi z demenco. Citira tudi pregledni članek Ienca (23), ki navaja 539 različnih naprav ali sistemov, ki so lahko v pomoč ljudem z demenco ali ljudem z zmanjšanimi zmožnostmi, ki potrebujejo pomoč pri dnevnih aktivnostih.

V preglednem članku Gasteiger in sodelavci, ki je bil vključen v pregled, (24) so ugotovili, da roboti in DOP pozitivno vplivajo na manjšo osamljenost, vendar da so potrebne dodatne raziskave, metode ter postavljeni okvirji za preučevanje vpliva DOP na ljudi. V času pisanja pregleda (2021) je bilo raziskav na to tematiko izjemno malo, s čimer sovpadajo tudi rezultati Federicija in ostalih (12).

V raziskavi Shadeove in ostalih (25) so na sicer na majhnem vzorcu 15 oseb ugotovili, da je uporaba DOP (Google Home

Assistant) pri starejših osebah lahko v spodbudo pri različnih nalogah za samoobvladovanje bolečine, predvsem s nastavljanjem opomnikov za različne naloge.

Prav tako je na majhnem vzorcu 18 oseb Kim (26) preučeval prve izkušnje starejših oseb pri interakciji s pametnimi zvočniki z DOP (Amazon Echo). Po prvi interakciji so bili starejši navdušeni nad enostavnostjo glasovnega upravljanja, pri nadaljnjih pa se je navdušenje nad DOP zmanjševalo. Navedene so tudi pomanjkljivosti, in sicer slabši sluh nekaterih starejših oseb, pomanjkanje razumevanja delovanja DOP ter vprašanja glede zasebnosti in varnosti. Pri tem članku se je pojavilo še nekaj zanimivih virov literature, ki med našim iskanjem niso bili najdeni, so pa predstavili možnost uporabe DOP kot podporne tehnologije za slepe in/ali starejše osebe (27–31).

V raziskavi Noda (32) so uporabili pametni zvočnik Google Home, ki se lahko uporablja tudi za upravljanje okolja, in navajajo, da je primeren za ljudi z gibalno oviranostjo, saj jim poveča možnost upravljanja okolja in samostojnost ter izboljša kakovost življenja. Raziskava Brandtove in sodelavcev (33) zaključuje, da lahko DOP s koledarji in opomniki izboljšajo funkcioniranje in izvajanje nalog pri ljudeh s kognitivnimi motnjami.

## RAZPRAVA

Namen prispevka je bil pregledati z dokazi podprto literaturo na področju vpliva DOP na ljudi z zmanjšanimi zmožnostmi in starejše osebe, kako jim lahko izboljšajo kakovost življenja, zmanjšajo občutek osamljenosti in socialne izolacije. Raziskave kažejo (3, 4), da ljudje z zmanjšanimi zmožnostmi, med katere spadajo tudi nekateri starejši ljudje, dojemajo DOP, ki se aktivirajo z glasom, kot nekakšne sopotnike, ki izboljšujejo njihovo socialno povezanost in zmanjšujejo osamljenost (28, 29). Raziskave, ki smo jih našli, so večinoma raziskovalne in opisne, vendar njihovih rezultatov zaradi majhnih velikosti vzorcev ne moremo posplošiti. Raziskave vpliva DOP na ljudi z zmanjšanimi zmožnostmi je zelo malo, nekaj več jih je s skupino starejših oseb. Poleg tega so omenjeni tudi pomisleki glede zasebnosti ter druga etična vprašanja in stroški, povezani z uporabo DOP, ki so bili opredeljeni kot možna tveganja za sprejemanje in uporabo DOP pri starejših odraslih. Starejši ljudje so izrazili potrebo in željo po bolj strukturiranem usposabljanju o uporabi DOP (3). Potrebne so prihodnje raziskave z boljšimi metodami, vključno s prospektivnimi, longitudinalnimi in randomiziranimi zasnovami. Razlog za majhno število raziskav je lahko tudi v relativno novi tehnologiji DOP, ki je v komercialni uporabi šele dobrih 8 let, ter v nestandardiziranih izrazih DOP. Drugi možni razlog so tudi etična vprašanja glede zasebnosti, ki se jih starejši ljudje še bolj zavedajo, zato tudi ne želijo sodelovati v raziskavah z DOP (15, 34). Tudi raziskav DOP za osebe s kognitivnimi motnjami je malo, kar je lahko povezano z njihovimi težavami s spominom – za priklic potrebnih ukazov, kar lahko pri njih povzroči frustracijo in vznemirjenje (35). Naprave DOP so razmeroma dostopne, vendar ta prednost vključuje tveganje pristranskosti, ki jih vzbujajo podjetja, in ciljno usmerjenih, prilagojenih tržnih priložnosti (36), saj je večina uporabljenih DOP



v raziskavah last velikih svetovnih korporacij. Prvi odprtokodni DOP so razvili pri podjetju Mycroft, za katerega pa v pregledu nismo našli raziskav. Treba bi bilo uvesti tudi javno informiranje in regulativo na tem področju.

Žal ali pa na srečo večina komercialnih DOP ne podpira slovenskega jezika. Amazonova Alexa podpira 8 svetovnih jezikov (angleščina, francoščina, hindujščina, italijanščina, japonščina, nemščina, portugalsščina in španščina). Googlov asistent podpira dodatno še danščino, korejščino, nizozemščino, norveščino in švedščino, medtem ko Applov Siri še dodatno arabščino, finščino, kitajščino, ruščino, turščino itd. Prav iz tega razloga najverjetneje raziskave v slovenščini ali na slovenski populaciji še ne obstajajo. Prav tako je treba pogledati tudi drugo plat DOP, ki so v lasti velikih korporacij. Vse, kar izgovarjamo, se hrani in analizira. Ne samo vsebina, tudi ton in način izražanja. DOP Siri je šele maja 2021 dobil možnost izbrisa zgodovine uporabe.

## ZAKLJUČKI

Rezultati te raziskave predstavljajo možnosti uporabe DOP za večjo samostojnost pri upravljanju okolja s pomočjo vmesnikov pametnih domov za osebe z zmanjšanimi zmožnostmi, tako za gibalno ovirane kot za slepe in slabovidne. Hkrati pa lahko DOP predstavljajo »družabništvo«, ki zmanjšuje občutek osamljenosti in socialne izolacije, ki sta razširjeni pri starejših osebah in pri osebah z zmanjšanimi zmožnostmi in predstavljata resno tveganje za zdravje. Zaenkrat DOP še ne podpirajo slovenskega jezika, kar je lahko diskriminatorno, po drugi strani pa prednost, saj to pomeni večjo zasebnost slovensko govorečih posameznikov. Stanje pri pregledu literature kaže na to, da je resnične vplive DOP treba še raziskati in postaviti standardizirane metode ocenjevanja. Dodatne raziskave so potrebne tudi za opredelitev z dokazi podprte strategije poučevanja uporabe DOP za starejše in različne skupine ljudi z zmanjšanimi zmožnostmi.

## Literatura:

- Cudjoe TKM, Roth DL, Szanton SL, Wolff JL, Boyd CM, Thorpe RJ. The epidemiology of social isolation: national health and aging trends study. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci.* 2020;75(1):107–13.
- Perissinotto CM, Stijacic Cenzer I, Covinsky KE. Loneliness in older persons: a predictor of functional decline and death. *Arch Intern Med.* 2012;172(14):1078–83.
- Corbett CF, Wright PJ, Jones K, Parmer M. Voice-activated virtual home assistant use and social isolation and loneliness among older adults: mini review. *Front Public Health.* 2021;9:742012.
- Corbett CF, Combs ME, Wright JP, Owens LO, Stringfellow I, Nguyen T, et al. Virtual home assistant use and perceptions of usefulness by older adults and support person dyads. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(3):1113.
- O'Brien K, Liggett A, Ramirez-Zohfeld V, Sunkara P, Lindquist LA. Voice-controlled intelligent personal assistants to support aging in place. *J Am Geriatr Soc.* 2020;68(1):176–9.
- Smith BJ, Lim MH. How the COVID-19 pandemic is focusing attention on loneliness and social isolation. *Public Health Res Pract.* 2020;30(2):3022008.
- Chambers R, Beaney P. The potential of placing a digital assistant in patients' homes. *Br J Gen Pract.* 2019;70(690):8–9.
- NHS health information available through Amazon's Alexa. Department of Health and Social Care; 2019. Dostopno na: <https://www.gov.uk/government/news/nhs-health-information-available-through-amazon-s-alexa> (citirano 13. 2. 2022).
- Salisbury H. Helen Salisbury: "Alexa, can you do my job for me?". *BMJ.* 2019;366:l4719.
- Rimmer A. Sixty seconds on . . . Dr Alexa. *BMJ.* 2019;366:l4684.
- Shamseer L, Moher D, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ.* 2015;350:g7647. Erratum in: *BMJ.* 2016;354:i4086.
- Federici S, de Filippis ML, Mele ML, Borsci S, Bracalenti M, Gaudino G, et al. Inside pandora's box: a systematic review of the assessment of the perceived quality of chatbots for people with disabilities or special needs. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2020;15(7):832–7.
- Pirzada P, Wilde A, Doherty GH, Harris-Birtill D. Ethics and acceptance of smart homes for older adults. *Inform Health Soc Care.* 2022;47(1):10–37.
- Mosquera-DeLaCruz JH, Loaiza-Correa H, Nope-Rodríguez SE, Restrepo-Girón AD. Human-computer multimodal interface to internet navigation. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2021;16(8):807–20.
- Gauthier A, Lagarde C, Mourey F, Manckoundia P. Use of digital tools, social isolation, and lockdown in people 80 years and older living at home. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(5):2908.
- Chen YR, Schulz PJ. The effect of information communication technology interventions on reducing social isolation in the elderly: a systematic review. *J Med Internet Res.* 2016;18(1):e18.
- Colombo F, Aroldi P, Carlo S. "Stay tuned": the role of ICTs in elderly life. *Stud Health Technol Inform.* 2014;203:145–56.
- Martin-Hammond A, Vemireddy S, Rao K. Exploring older adults' beliefs about the use of intelligent assistants for consumer health information management: a participatory design study. *JMIR Aging.* 2019;2(2):e15381.
- Vollmer Dahlke D, Ory MG. Emerging issues of intelligent assistive technology use among people with dementia and their caregivers: a U.S. perspective. *Front Public Health.* 2020;8:191.
- Woodcock A, Osmond J, Holliday N. The development of a feature matrix for the design of assistive technology products for young older people. In: Woodcock A, Moody L, McDonagh D, Jain A, Jain LC, eds. *Design of assistive technology for ageing populations.* Cham: Springer; 2020;81–103.
- Robinson WN, Deng T, Aria A. Guiding assistive-technology adaptations through intelligent stream mining of patient data. In: Khuntia J, Ning X, Tanniru M, eds. *Theory and practice of business intelligence in healthcare.* Hershey: Medical information science reference; 2020;216–55.
- Moody L, York N, Ozkan G, Copley A. Bringing assistive technology innovation and material science together through design. In: *Innovation in medicine and healthcare systems, and multimedia.* Singapore: Springer; 2019;305–15.
- Ienca M, Fabrice J, Elger B, Caon M, Scoccia Pappagallo A, Kressig RW. Intelligent assistive technology for Alzheimer's



- disease and other dementias: a systematic review. *J Alzheimers Dis.* 2017;56(4):1301–40. Erratum in: *J Alzheimers Dis.* 2017;60(1):333.
24. Gasteiger N, Loveys K, Law M, Broadbent E. Friends from the future: a scoping review of research into robots and computer agents to combat loneliness in older people. *Clin Interv Aging.* 2021;16:941–71.
  25. Shade MY, Rector K, Soumana R, Kupzyk K. Voice assistant reminders for pain self-management tasks in aging adults. *J Gerontol Nurs.* 2020;46(10):27–33.
  26. Kim S. Exploring how older adults use a smart speaker-based voice assistant in their first interactions: qualitative study. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2021;9(1):e204
  27. Sayago S, Barbosa Neves B, Cowan BR. Voice assistants and older people: some open issues. Dostopno na: [https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3342775.3342803?casa\\_token=-kN5i9mJqxoAAAAA:CFmIQv89VWM5hDzZ8QWT0lsL-CbQIIealInneVKNdey8byFbK3zmmHCzggOWgRV2GZvK9\\_IWYD0EA4](https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3342775.3342803?casa_token=-kN5i9mJqxoAAAAA:CFmIQv89VWM5hDzZ8QWT0lsL-CbQIIealInneVKNdey8byFbK3zmmHCzggOWgRV2GZvK9_IWYD0EA4) (citirano 13. 2. 2022).
  28. Pradhan A, Mehta K, Findlater L. ‘Accessibility came by accident’: use of voice-controlled intelligent personal assistants by people with disabilities. Dostopno na: [https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3173574.3174033?casa\\_token=WsiW1N-L\\_4\\_0AAAAA:6ivoD8UUPUIdN7fYG5EyU-LfrkU9Xv-dds24uDA9Bb\\_jzb0x6c\\_CQo8uu3Vlrn6\\_bzDOovIIEyf4](https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3173574.3174033?casa_token=WsiW1N-L_4_0AAAAA:6ivoD8UUPUIdN7fYG5EyU-LfrkU9Xv-dds24uDA9Bb_jzb0x6c_CQo8uu3Vlrn6_bzDOovIIEyf4) (citirano 13. 2. 2022).
  29. Pradhan A, Lazar A, Findlater L. Use of intelligent voice assistants by older adults with low technology use. *ACM Trans Comput-Hum Interact.* 2020;27(4):1–27.
  30. Sanders J, Martin-Hammond A. Exploring autonomy in the design of an intelligent health assistant for older adults. Dostopno na: [https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3308557.3308713?casa\\_token=hRpJWvPTPCwAAAAA:oWvsFe6XXIjWJMzi-Vew4YWyDvKYhpzPh5ZHjeH9k7zuZCfjgQOP9W-VBaJ-fArYWC-B6jwYdhPT-Q](https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3308557.3308713?casa_token=hRpJWvPTPCwAAAAA:oWvsFe6XXIjWJMzi-Vew4YWyDvKYhpzPh5ZHjeH9k7zuZCfjgQOP9W-VBaJ-fArYWC-B6jwYdhPT-Q) (citirano 13. 2. 2022).
  31. Shade M, Rector K, Kupzyk K. Verification of pain medication adherence in older adults using interactive voice reminders. *Innov Aging.* 2019;3 Suppl 1:S926.
  32. Noda K. Google Home: smart speaker as environmental control unit. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2018;13(7):674–5.
  33. Brandt Å, Jensen MP, Søbørg MS, Andersen SD, Sund T. Information and communication technology-based assistive technology to compensate for impaired cognition in everyday life: a systematic review. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2020;15(7):810–24.
  34. McGreevey JD 3rd, Hanson CW 3rd, Koppel R. Clinical, legal, and ethical aspects of artificial intelligence-assisted conversational agents in health care. *JAMA.* 2020;324(6):552–3.
  35. Ruggiano N, Brown EL, Roberts L, Framil Suarez CV, Luo Y, Hao Z, et al. Chatbots to support people with dementia and their caregivers: systematic review of functions and quality. *J Med Internet Res.* 2021;23(6):e25006.
  36. Ameen N, Hosany S, Tarhini A. Consumer interaction with cutting-edge technologies: implications for future research. *Comput Human Behav.* 2021;120:106761.

# OCENJEVANJE SPOSOBNOSTI ZA VOŽNJO S SODOBNO TEHNOLOGIJO

## ASSESSING DRIVING ABILITY USING MODERN TECHNOLOGY

Marko Sremec, dr. med., Tina Rozman, dr. med.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Povzetek

Ocenjevanje sposobnosti za vožnjo s pomočjo sodobne tehnologije (simulatorji vožnje) je velik korak k objektivizaciji ocene. Rezultati, ki jih pridobimo s testiranjem na simulatorju, nam omogočajo uvid v posamezne in kombinirane spoznavne, gibalne in vidne sposobnosti, ki so osnova za varno upravljanje motornega vozila v dinamičnem prometnem okolju. S tehnološkim razvojem simulatorji ponujajo tudi možnost rehabilitacije pacientov po različnih boleznih ali poškodbah in povrnitev njihovih voznih zmoglosti. Čeprav imajo različne države lastno zakonodajo, strokovna merila in infrastrukturo, imajo simulatorji vožnje gotovo pomembno vlogo in prispevajo k ocenjevanju sposobnosti za vožnjo.

### Ključne besede:

vožnja; simulator; promet; rehabilitacija

### Abstract

*Assessing driving ability with modern technology (driving simulators) is a big step towards objectifying the assessment. The results obtained by testing on a simulator allow us to gain insight into individual and combined cognitive, motor and visual abilities, which are the basis for safe driving in a dynamic traffic environment. The technological development has enabled the simulators to also offer the possibility of rehabilitation of driving capabilities in patients after various diseases or injuries that impaired their driving functions. Regardless of the different traffic legislation, infrastructure and professional criteria across countries, driving simulators certainly play an important role and contribute to assessment of driving ability.*

### Key words:

*driving; simulator; traffic; rehabilitation.*

## UVOD

Za varno vožnjo motornega vozila v javnem prometu so potrebne ustrezne kognitivne, zaznavne in fizične sposobnosti (1-3), ki morajo biti usklajene s pričakovanimi oziroma predpisanimi merili, ki imajo v Sloveniji ustrezne zakonske podlage. Pri ugotavljanju zmoglosti za vožnjo motornih vozil moramo slediti zahtevam za varno vožnjo, saj vožnja motornega vozila v javnem prometu pomeni upravljanje premikajočega se vozila v dinamičnem prometnem okolju. Ob tem se moramo zavedati, da zmoglost za vožnjo motornega vozila pomeni večjo kakovost življenja, neodvisnost od tuje pomoči, boljše vključenost v družbo, večje možnosti izobraževanja in zaposlitve ter obiskovanje kulturnih, zabavnih in športnih prireditev (4).

Ocenjevanje zmoglosti za vožnjo navadno poteka v dveh korakih: ocenjevanje zunaj avtomobila (off-road) in ocenjevanja v avtomobilu (on-road). Pogosto je del ocenjevanja tudi trening oziroma preizkus vožnje na simulatorju. Vloga simulatorja v ocenjevalnem procesu še ni povsem pojasnjena (5). Ocenjevanje zunaj avtomobila se nanaša na klinični pregled in testiranje na simulatorju. S kliničnim pregledom pacienta s patologijo spodnjih udov ocenjujemo mišično moč, obseg aktivne gibljivosti v sklepkih, nehotne gibe in pridružene reakcije, krče, koordinacijo gibov, ravnotežje, občutljivost, stojo, hojo, položaj telesa pri sedenju in sposobnost samostojnega presedanja (6). Ocenjevanje v avtomobilu zagotavlja najbolj realen način preučevanja tehnike vožnje in zmogljivosti, vendar obstajajo tveganja za pacienta, inštruktorja in druge udeležence v prometu. Čeprav se na prvi pogled ocena vožnje v prometu zdi najbolj realna, obstaja veliko situacij, ki jih tak preizkus mogoče ne bo zajel. Ocena vožnje je subjektivna in je lahko med inštruktorji različna. Vožnja v te namene traja le

določen čas in v določenih razmerah, kot sta letni čas in ura dneva. Posledično je zelo malo verjetno, da se v tem času zgodijo vse situacije, ki bi nam dale realno oceno zmožnosti za vožnjo (7).

V literaturi, ki obravnava ocenjevanje zmožnosti za vožnjo, je navedeno, da imajo v tem procesu poleg preostalih metod svoje mesto tudi diagnostični simulatorji vožnje (8, 10). Starejši diagnostični simulatorji testirajo predvsem določene motorične in senzorične odzive preiskovanca. Simulatorji novejših generacij pa omogočajo tudi testiranje odzivnosti preiskovancev v simulaciji realnih prometnih situacij. Tako lahko preizkusimo odzivnost voznikov v nevarnih situacijah, ki jim oseba ni vedno izpostavljena v ocenjevalni vožnji z inštruktorjem. Tehnologija in razvoj simulatorjev nenehno napreduje. Umetna inteligenca in biometrični senzori omogočajo razvoj diagnostičnega simulatorja, ki omogoča testiranje v prometnih situacijah, pomembnih za oceno voznških zmožnosti preiskovanca.

Diagnostične simulatorje delimo glede na to, katere funkcije osebe lahko s njimi preizkusimo. Najsodobnejši simulatorji omogočajo testiranje kognitivnih, motoričnih in senzoričnih funkcij (11). Prednost uporabe simulatorja je tudi v možnosti sledenja voznikom na kontrolnih pregledih, saj lahko primerjamo dosežene rezultate med seboj in ocenimo stanje v primerjavi s predhodnim pregledom (9).

Pri oceni voznškov zmožnosti za vožnjo je zelo pomembna ocena sposobnosti pravočasnega odzivanja pri nujnem zaviranju. To pomeni, da bo voznik pravočasno zaznal nevarnost in se odzval v ustreznem času ter preprečil trk. Pri testiranju na simulatorju lahko tako situacijo ponovimo nešteto krat in kot odgovor dobimo vrednost v sekundah (12, 13). Tako lahko sledimo zahtevam Zakona o varnosti cestnega prometa, kjer je v 29. členu navedeno, da mora voznik, ki vozi za drugim vozilom po istem prometnem pasu, voziti za njim na razdalji, ki ni manjša od razdalje, ki jo pri hitrosti, s kakršno vozi, prevozi v dveh sekundah (varnostna razdalja) (14). Zanimivo pa je, da je v Združenih državah Amerike varnostna razdalja opredeljena kot čas, ki ga voznik prevozi v treh sekundah (15).

## Sodobni simulatorji vožnje

V akademskem okolju je uporaba sodobnih simulatorjev pri preizkušanju voznških zmožnosti še vedno predmet razprave, predvsem zaradi preizkusa v nerealnem okolju. (16). Čeprav najsodobnejši simulatorji omogočajo zelo dober približek vozilu in okolju, je večina simulatorjev, ki jih uporabljamo za oceno voznških sposobnosti voznikov in kandidatov za voznike, manj kompleksna. Starejši modeli so pogosto uporabljali obstoječe dele avtomobilov, ki so bili povezani z računalnikom, in so beležili odzive uporabnikov na različne vrste signalov. Z razvojem tehnologije so začeli uporabljati zaslone in programsko opremo, ki simulira situacije iz vsakdanjega prometnega okolja (17). Tudi preprostejši simulatorji so lahko dober približek prometnega okolja (16). Treba je razumeti, da so voznškov spoznavne sposobnosti omejene in da ne uporabljajo vseh razpoložljivih informacij (18). S preizkusom na taki napravi želimo pridobiti osnovne informacije, ki so bistvene

za ustrezen odziv in iskanje rešitev v realnem okolju. Grafična podoba in morebitno približevanje resničnosti torej nista bistvena. To dokazujejo tudi rezultati raziskav, v katerih bistvenih razlik med merjenimi vrednostmi v realnem in simuliranem okolju niso ugotovili (19).

Raziskovalci in kliniki, ki uporabljajo simulatorje v vsakdanji praksi, vidijo poleg ocenjevalnih tudi rehabilitacijske potenciale sodobnih simulatorjev vožnje. Za čim boljšo vrednost rezultata je pomembna predvsem veljavnost rezultata, ki je odvisna od namena preizkusa. Veljavnost lahko razdelimo v naslednje skupine (20):

1. Diskriminativna veljavnost se nanaša na prepoznavanje razlik med skupinami voznikov, kot so na primer demografski podatki ali diagnoze (17).
2. Konvergentna veljavnost pomeni ujemanje rezultatov ocene z inštruktorjem in na simulatorju, ki je lahko avtomatizirana ali pa jo, tako kot pri cestnem preizkusu, poda ocenjevalec (17).
3. Vedenjska veljavnost se nanaša na usklajenost opažanj med simulirano in resnično vožnjo v daljšem časovnem obdobju in jo lahko razdelimo na absolutno in relativno. Absolutna veljavnost se nanaša na ujemanje absolutnih številčnih vrednosti posameznih spremenljivk (npr. hitrosti), izmerjenih v simuliranem in realnem okolju. O relativni veljavnosti pa govorimo, ko je v obeh okoljih mogoče opaziti enake trende, bodisi pri posamezniku bodisi v populaciji (21, 22).
4. Napovedna veljavnost predstavlja mogoče najstrožjo kategorijo vedenjske veljavnosti in se nanaša na dejstvo, ali je iz rezultatov, dobljenih na simulatorju, mogoče napovedati voznški slog in morebitne težave pri obvladovanju dinamičnega prometnega okolja (23).

## ZAKLJUČEK

Razvoj in uporaba simulatorjev za ocenjevanje voznških zmožnosti dokazuje, da so dragoceno orodje za izboljšanje varnosti v prometu, rehabilitacijo voznških zmožnosti in raziskovalno dejavnost. Največja težava, s katero se spoprijemamo, je pomanjkanje meril, ki se nanašajo na različne konfiguracije glede demografskih značilnosti, diagnoz, zakonodaj in infrastrukture. Orodja, ki nam omogočajo ocenjevanje voznških zmožnosti in rehabilitacijo voznikov po različnih poškodbah ali boleznih, brez tveganja za preostalo populacijo v vseh vremenskih razmerah, nam odpirajo popolnoma nova poglavja osebne mobilnosti in samostojnosti pacientov.

## Literatura:

1. Horberry T, Inwood C. Defining criteria for the functional assessment of driving. *Appl Ergon.* 2010;41(6):796–805.
2. Green M. "How long does it take to stop?" Methodological analysis of driver perception-brake times. *Trans Hum Factors.* 2000;2(3):195–216.
3. Bilban M. Vozniška zmožnost. V: Zupan A, Bilban M, ur. *Ocenjevanje sposobnosti za vožnjo avtomobila* : zbornik

- predavanj, 14. in 15. februar 2014. Ljubljana: Univerzitetni rehabilitacijski inštitut RS – Soča, Zavod za varstvo pri delu; 2014:59–73.
4. Meikle B, Devlin M, Pauley T. Driving pedal reaction times after right transtibial amputations. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(3):390–4.
  5. Larsson H, Falkner T. Off-road and on-road driving assessments methods. What do they say? A clinical sample. In: *Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*, Stevenson, Washington, July 9–12, 2007. Iowa City: University of Iowa, Public Policy Center; 2007: 335–42.
  6. Sremec M, Velikanje F, Moharić M. Pregled in ocena pacienta po možganski kapi v ambulanti za voznike s posebnimi potrebami. V: Teržan M, Pelhan B, Sremec M, ur. *Obravnava bolnika po možganski kapi v procesu vračanja na delo: zbornik predavanj*, Ljubljana, februar 2018. Ljubljana: Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije - Soča, Center za poklicno rehabilitacijo; 2018:125–31.
  7. Stein AC, Dubinsky RM. Driving simulator performance in patients with possible and probable Alzheimer's disease. *Ann Adv Automot Med.* 2011;55:325–34.
  8. Boulias C, Meikle B, Pauley T, Devlin M. Return to driving after lower-extremity amputation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(9):1183–8.
  9. De Winter JC, de Groot S, Mulder M, Wieringa PA, Dankelman J, Mulder JA. Relationships between driving simulator performance and driving test results. *Ergonomics.* 2009;52(2):137–53.
  10. Mayhew DR, Simpson HM, Wood KM, Lonero L, Clinton KM, Johnson AG. On-road and simulated driving: concurrent and discriminant validation. *J Safety Res.* 2011;42(4):267–75.
  11. Szalay Z, Gáspár P, Kánya Z, Nagy D. Development of a vehicle simulator based on a real car for research and education purposes. In: *Proceedings of the Fisita 2012 World Automotive Congress. Lecture Notes in Electrical Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013:1301–12.
  12. Hunter JAA, Vries J de, Brown Y, Brenner-Hartmann J, Hekstra A, Vidmar G, eds. *Handbook of disabled driver assessment*. Belfast: Form of Mobility Centres, Ljubljana: Institute for Rehabilitation; 2009.
  13. Greve JM, Santos L, Alonso AC, Tate DG. Driving evaluation methods for able-bodied persons and individuals with lower extremity disabilities: a review of assessment modalities. *Clinics (Sao Paulo).* 2015;70(9):638–47.
  14. *Zakon o varnosti cestnega prometa*. Uradni list RS, št. 56/2008. Dostopno na: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/86881> (citirano 21. 2. 2022).
  15. *Safe driving*. In: *Virginia driver's manual*. Richmond: Virginia Department of motor vehicles; 2019. Dostopno na: <https://dmv-permit-test.com/virginia/drivers-handbook> (citirano 21. 11. 2021).
  16. Caird J, Horrey WJ. Twelve practical and useful questions about driving simulation. In: Fisher DL, Rizzo M, Caird J, eds. *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. New York: CRC Press; 2011: 51–18.
  17. Motnikar L. *Uporaba simulatorja vožnje za ocenjevanje voznških sposobnosti nevroloških pacientov [magistrsko delo]*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta; 2021.
  18. Gibson JJ. *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates; 1986.
  19. Milleville-Pennel I, Charron C. Driving for real or on a fixed-base simulator: is it so different? An explorative study. *Presence (Camb).* 2015;24(1):74–91.
  20. Lew HL, Poole JH, Lee EH, Jaffe DL, Huang HC, Brodd E. Predictive validity of driving-simulator assessments following traumatic brain injury: a preliminary study. *Brain Inj.* 2005;9(3):177–88.
  21. Mayhew DR, Simpson HM, Wood KM, Lonero L, Clinton KM, Johnson AG. On-road and simulated driving: concurrent and discriminant validation. *J Safety Res.* 2011;42(4):267–75.
  22. Risto M, Martens MH. Driver headway choice: a comparison between driving simulator and real-road driving. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2014;25A:1–9.
  23. Lee HC, Lee AH, Cameron D, Li-Tsang C. Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *J Safety Res.* 2003;34(4):453–9.



# UČINKOVITOST ROBOTSKO PODPRTE VADBE ZA IZBOLJŠANJE FUNKCIJE ROKE PRI OTROKU Z OKVARO OSREDNJEGA ŽIVČEVJA: PREGLED LITERATURE

## EFFICIENCY OF ROBOT-ASSISTED TRAINING FOR IMPROVING HAND AND ARM FUNCTION IN A CHILD WITH BRAIN IMPAIRMENT: LITERATURE REVIEW

doc. dr. Katja Groleger Sršen<sup>1, 2</sup>, dr. med.

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

### Povzetek

#### Izhodišča:

Za izboljšanje funkcije roke pri otroku s hemiparetično obliko cerebralne paralize je na voljo več terapevtskih metod, od terapije z omejevanjem funkcije neokvarjene roke in vadbe soročnih aktivnosti do uporabe toksina botulina in ortoz. V zadnjem času se uveljavlja tudi robotsko podprta vadba v navideznem okolju, ki omogoča večje število ponovitev usmerjenih gibov roke, kar naj bi prispevalo k izboljšanju funkcije. S pregledom literature smo želeli preveriti, koliko so stari otroci, ki jih po svetu vključujejo v vadbo na tej napravi, s katerimi diagnozami, kakšen je protokol dela in katere teste uporabljajo za oceno izboljšanja funkcije roke.

#### Metode:

V zbirki PubMed smo s pomočjo ključnih besed »otrok«, »roka«, »robotsko podprta vadba«, »Armeo«, »rehabilitacija« poiskali vse članke, ki so bili objavljeni do 31. 1. 2022. Dodatne članke smo iskali na spletni strani proizvajalca.

#### Rezultati:

Našli smo 65 različnih člankov, vendar jih je le osem ustrezalo vključitvenim merilom. Na spletni strani proizvajalca smo našli še šest člankov o rabi naprave pri otrocih, od tega so bili glede na prvo iskanje novi trije. V raziskave vključeni otroci so bili večinoma najstniki, mlajši pa stari vsaj pet ali šest let.

### Abstract

#### Background:

Several therapeutic methods are available to improve hand function in a child with hemiparetic cerebral palsy, from constraint-induced manual therapy and bimanual therapy, to the use of botulinum toxin and orthoses. Recently, robot-assisted exercise in virtual environment has also become popular. It enables a high number of repetitions of directed hand movements, which should contribute to improving function. By reviewing the literature, we wanted to check what is the age of children included in the exercise on the ArmeoSpring Pediatric device, what are their diagnoses, what is the work protocol and what tests are used to assess the improvement of hand function.

#### Methods:

We searched the PubMed database for all articles that were published until 31st January 2022 using the with keywords »child«, »arm«, »robot-supported exercise«, »Armeo« and »rehabilitation«. Additional articles were found on the manufacturer's website.

#### Results:

We found 65 articles, but only eight of them met the inclusion criteria. On the manufacturer's website, we found six additional articles, three of which were new with respect to the first search. The included children were mostly teenagers, and the younger

Prevladovala je diagnoza cerebralna paraliza. Posamezna vadba na robotski napravi večinoma traja do 45 minut, od 2x do 5x/teden, štiri tedne. Za oceno vpliva na funkcijo roke so avtorji novejših raziskav najpogosteje uporabili Melbournski test za oceno enostranske funkcije roke in Test za oceno kakovosti funkcije zgornjega uda. Avtorji vključenih raziskav so potrdili učinkovitost robotsko podprte vadbe.

### Zaključek:

Vadba na napravi Armeo Spring Pediatric se vedno bolj uveljavlja v programih rehabilitacije otrok z enostransko okvaro funkcije roke v sklopu cerebralne paralize, pa tudi po nezgodni poškodbi in drugih okvarah možganov. Avtorji večine raziskav so poročali o pomembnem izboljšanju funkcije roke. Izboljšanje so ugotovili tudi na področju izvedbe izbranih ciljev in zadovoljstva z izvedbo.

### Ključne besede:

otrok; hemipareza; roka; funkcija; robotsko podprta vadba; ArmeoSpring

*ones were at least five or six years old. The diagnosis of cerebral palsy was predominant. Individual training on a robotic device mostly lasts up to 45 minutes, from 2 to 5 times per week, for four weeks. To assess the impact on arm function, the authors of the most recent studies mainly used the Melbourne Assessment of Unilateral Lateral Hand Function and the Quality of Upper Extremity Skills Test. The authors of the included studies confirmed the effectiveness of robot-assisted exercise.*

### Conclusion:

*Training on the Armeo Spring Pediatric device is gaining ground in rehabilitation programs for children with unilateral hand dysfunction as part of cerebral palsy, as well as after traumatic brain injury and other brain impairments. The authors of most studies have reported significant improvements in arm function. Improvements were also observed in the implementation of selected objectives and satisfaction with the implementation.*

### Key words:

*child; hemiparesis; hand; function; robot-supported exercise; ArmeoSpring*

## UVOD

Pri otrocih po enostranski okvari možganov v zgodnjem razvoju, še posebej pri otrocih s cerebralno paralizo (CP), za izboljšanje okvarjene funkcije roke uporabljamo več različnih terapevtskih pristopov. Poleg terapije z omejevanjem funkcije neokvarjene roke (*angl.* Constrained Induced Manual Therapy, CIMT) (1) so Novakova in sodelavci (2) za izboljšanje funkcije roke pri otrocih s CP kot dokazano učinkovite priporočili tudi učenje soročnih aktivnosti (3, 4), kombinacijo uporabe toksina botulina z delovno terapijo, učenje z opazovanjem aktivnosti (5, 6), učenje v obogatenu okolju (7), vadbo v domačem okolju (8) in usmerjeno vadbo glede na izbrane cilje (9). Med terapevtskimi programi, ki so verjetno učinkoviti, vendar za to (še) ni dovolj trdnih dokazov, sodijo še transkranijska električna simulacija z direktnim tokom (tDSC) (10), vadba za izboljšanje mišične moči (11), uporaba ortoz za roko in toksin botulina v kombinaciji z ortozami.

K že uveljavljeni vadbi soročnih aktivnosti za izboljšanje funkcije roke pri otrocih s hemiparetično obliko CP smo na Oddelku za (re)habilitacijo otrok Univerzitetnega rehabilitacijskega inštituta Republike Slovenije – Soča (URI – Soča) v letu 2006 dodali CIMT. Analiza rezultatov je potrdila, da je pristop učinkovit, vendar se je ob spremljanju otrok v daljšem časovnem obdobju izkazalo, da se funkcija okvarjene (podporne) roke postopno spet poslabša (12). Vadbi za izboljšanje izbranih aktivnosti (ciljev) (13) smo v letu 2015 dodali tudi vadbo za robotski napravi Armeo Spring Pediatric (14).

## Program vadbe na napravi Armeo Spring Pediatric

V program večinoma vključujemo otroke z enostransko okvaro v sklopu cerebralne paralize, stanja po nezgodni poškodbi možganov in okvaro brahialnega plečja. Poleg tega je merilo za vključitev tudi dolžina nadlahti od 155 do 235 mm, dolžina podlahti od komolca do osi prijema od 230 do 370 mm (15). V program ne vključujemo otrok, ki imajo hudo osteoporozo, stanja po svežih poškodbah skeleta ali mehkih tkiv, močno omejeno gibljivost sklepov, motnje občutenja kože, delni izpah ramenskega sklepa ali bolečine, hudo spastičnost, diskinezije, šibke kognitivne zmožnosti, slabovidnost ali fotosenzitivno epilepsijo.

Vadbo in potek terapije individualno prilagodimo glede na potrebe in zmožnosti otroka. Pred začetkom roko, s katero bo otrok vadil, namestimo na robotsko vodeno roko, nato opravimo uvodno ocenjevanje, ki vključuje meritve obsega aktivnih gibov v ramenskem, komolčnem sklepu in zapestju (A-ROM). S to oceno določimo največji možni obseg aktivnega giba roke, s tem pa meje obsega gibanja v posameznih ravninah pri igrah. Sledi ocena obsega delovnega področja gibanja roke (A-MOVE), ki nato določa, kam na zaslonu bodo postavljeni predmeti in kakšno nalogo bo otrok lahko izvajal. Tretja ocena, ki jo opravimo, je ocena natančnosti pri potovanju z roko skozi prostor (A-GOAL). Otrok pri igri z roko potuje od točke A do točke B, pri čemer naj bi bila pot čim krajša, zadetek tarče na koncu poti pa čim bolj natančen (15).

Načrt vadbe vključuje seznam vaj in/ali ocenjevanj. Glede na izhodiščno oceno se odločimo, katere vaje oziroma ocenjevanja so potrebna za otroka, kakšen bo njihov vrstni red, zahtevnost in trajanje (lahko izbere eno, dve ali več spremenljivk). Glede na dosežke pri ocenjevanju določimo oz. prilagodimo območje vadbe in število dimenzij gibanja (od ene do treh). Poleg tega lahko prilagodimo tudi druge značilnosti, kot je npr. sila pritiska ročice. Vadbeno območje prilagodimo glede na cilj terapije, npr. za vadbo koordinacije gibanja izberemo manjše vadbeno območje, za izboljšanje obsega giba pa večje območje vadbe (15).

Vsaka od izbranih vaj ima tudi več stopenj zahtevnosti glede na število, velikost in razporeditev predmetov, ki jih je treba izbrati ali se jim izogniti, glede na slikovne podrobnosti (kako podrobno bo ozadje vaje in koliko bo motečih elementov) in trajanje igralne aktivnosti (od dveh do 15 minut). Običajno začnemo z zmanjšanim območjem gibanja, ki je otrokovo delovno območje za igro. Ko otrok pri izvajanju igre postaja bolj uspešen in obvladuje začetno delovno območje, ga lahko postopno povečujemo. Zahtevnost igre lahko povečamo tudi s hitrejšim dogajanjem v igri, podaljšanim časom igre in zmanjševanjem podpore, ki jo nudi ortoza robotske naprave. Raznolikost izvedbe omogoča tudi sproščanje ali zaklepanje gibanja v posameznem sklepu na robotski ortozi.

Glede na spodbudne rezultate, ki so jih dosegli otroci v našem terapevtskem programu (14), in stopnjo priporočila Novakove v pregledu literature v letu 2019 (2) (program je verjetno učinkovit) nas je zanimalo, kakšni so rezultati novejših raziskav v tujini, še posebej, ker je po podatkih na spletni strani podjetja, ki izdeluje Armeo Spring Pediatric, po svetu že 114 takšnih robotov (15). Zanimalo nas je, koliko so stari otroci, ki jih po svetu vključujejo v vadbo na tej napravi, s katerimi diagnozami, kakšen je protokol dela in katere teste uporabljajo za oceno izboljšanja funkcije roke.

## Metode

V zbirki PubMed smo s pomočjo ključnih besed »otrok«, »roka«, »robotsko podprta vadba«, »Armeo«, »rehabilitacija« poiskali vse članke, ki so bili objavljeni do 31. 1. 2022. Upoštevali smo vključitvena merila: članki v angleščini; originalne raziskave o učinkih vadbe na robotsko vodenih terapevtskih programih za izboljšanje funkcije roke pri otrocih, brez preglednih člankov. S pomočjo različnih kombinacij ključnih besed smo našli 65 različnih člankov, vendar jih je vključitvenim merilom ustrezalo le osem. Kar nekaj člankov je bilo s področja odraslih po možganski kapi, veliko pa tudi z ostalih področij robotike, npr. robotsko vodenega kirurškega zdravljenja. Preverili smo tudi, kateri članki so kot referenca za vadbo na Armeo Spring Pediatric na voljo na spletni strani podjetja Hocoma (15). S seznama 61 člankov je bilo le šest člankov o rabi naprave pri otrocih (od tega trije novi glede na prvo iskanje).

## Rezultati

Podatki o starosti otrok, protokolu dela, ocenjevalnih instrumentih in rezultatih raziskav so povzeti v Tabeli 1. Raziskave so razvrščene po letnici objave članka.

Otroci, ki so bili vključeni v raziskave o oceni učinka vadbe na robotski napravi Armeo Spring Pediatric, so bili večinoma najstniki, mlajši pa stari vsaj pet ali šest let. Večinoma so bili v vadbo vključeni otroci s CP. Posamezna vadba na robotski napravi je potekala od 25 ali 30 (16) do 45 minut (17, 18). Otroci so bili v vadbo vključeni od 2x do 5x/teden, programi so večinoma trajali štiri tedne (17, 18). V nekaj primerih je bilo skupno trajanje vadbe od 300 do 410 minut (16), večinoma pa dlje, 900 (17, 18) ali celo več kot 1000 minut (19). V raziskavah je viden trend daljšanja časa vadbe z leti, čeprav povsem jasnega pravila ni.

Za oceno vpliva na funkcijo roke so avtorji novejših raziskav najpogosteje uporabili Melbournski test za oceno enostranske funkcije roke (*angl.* Melbourne Assessment of Uni-lateral Hand Function, MUUL) (20) in Test za oceno kakovosti funkcije zgornjega uda (*angl.* Quality of upper Extremity skills test, QUEST) (21), ostale teste pa redkeje. Kar v štirih raziskavah so učinek vadbe ocenjevali s pomočjo kinematike oz. ocene poseganja; drugi so želeli oceniti ev. vpliv na aktivacijo mišic (EMG), koordinacijo vida in gibanja ter zmožnost zapisovanja. Nekaj avtorjev raziskav je želelo ugotoviti, kako vadba na robotski napravi vpliva na spastičnost oz. obseg in način grobega gibanja ter mišično moč (Tabela 1). Le v redkih primerih so avtorji razmišljali, da bi preverili tudi morebitni napredek na področju izvedbe in zadovoljstva z izvedbo izbranih ciljnih aktivnosti ali napredek pri širšem naboru funkcijskih zmožnosti (Tabela 1). Tako so Turconi in sod. (22) poleg ocene funkcije roke analizirali tudi morebitno izboljšanje na področju aktivnosti in sodelovanja: kode o drobno gibalnih spretnostih (D440), uporabi roke (D445), skrbi zase (D510, D540) in pisanju ter komunikaciji (D170, D360.1). Do izboljšanja je prišlo tudi pri aktivnostih, ki niso bile vključene v vadbo (pisanje, zmožnost diskriminacije vidnih dražljajev). Avtorji menijo, da verjetno zaradi vidne povratne informacije in spodbujanja vidne pozornosti, ki jo potrebujejo otroci med vadbo na robotski napravi (22).

## Razprava

Zanimalo nas je, koliko so stari otroci, ki jih v raziskavah v tujini vključujejo v vadbo na Armeo Spring Pediatric, s katerimi diagnozami, kakšen je protokol dela in katere teste uporabljajo za oceno izboljšanja funkcije roke.

Starost najmlajših otrok od pet do šest let je pogojena z dolžino otrokove roke. Zaradi tehničnih značilnosti naprave je pogoj za vključitev v vadbo dolžina nadlahti vsaj 155 mm, dolžina podlahti od komolca do osi prijema pa vsaj 230 mm. V večino raziskav so bili vključeni samo otroci s CP (16, 23–26, 28, 29). Avtorji dveh raziskav so v vadbo na Armeo Spring vključili tudi otroke in mladostnike po nezgodni poškodbi možganov (NPM) (18, 27). Večina raziskav je predvidela protokol dela 45 minut, vsaj 3x/teden, štiri tedne (Tabela 1). Le v eni od raziskav so otroke v program vadbe vključevali 2x/dan (22). Uporabljeni testi za spremljanje učinka vadbe so bili predvsem na začetku zelo raznoliki, v zadnjem obdobju pa se avtorji odločajo predvsem za uporabo testov MUUL in QUEST (Tabela 1). Slednji je namenjen oceni

**Tabela 1:** Glavne značilnosti raziskav o učinkovitosti vadbe na robotsko vodeni vadbi za izboljšanje funkcije okvarjene roke.**Table 1:** Main features of research studies on efficiency of robotic guided training for improvement of impaired hand/arm function.

Avtorji/ Authors	Udeleženci (povprečna starost)/ Participants (mean age)	Protokol/ Protocol	Ocenjevalni instrumenti/ Evaluation measurements	Rezultati/ Results
Turconi et al., 2015 [22]	N=10 CP, dipareza (11,2 leta)	45 minut 10x/teden 4 tedne	Tapkanje s konico prsta, QUEST, MUUL, VMI, VPS, MAS, NEPSY II, MKF	izboljšanje funkcije roke, ne pa tudi zmanjšanje spastičnosti ali povečanje mišične moči; prenos na aktivnosti vsakodnevnega življenja; brez ocene o daljšem učinku
Peri et al., 2016 [23]	N=14 CP (ni podatka o obliki) (8 do 16 let)	30 minut 4–5x/teden 3–4 tedne	MUUL ocena z lastnim indeksom izvedbe	statistično značilno izboljšanje; predlog indeksa za oceno izvedbe nalog
Krishnaswamy et al., 2016 [24]	N=6 CP, hemipareza (10,8 leta)	30–40 min 3x/teden 6–8 tednov	JTT, BBT, AHA	napredek viden pri nekaterih otrocih
Picelli et al., 2017 [16]	N=10 CP, hemipareza (14,2 leta); kontrolna skupina 11 zdravih vrstnikov	30 minut 5x/teden 2 tedna; vadba na napravi z neokvarjeno roko oz. dominantno roko	NPH, JTT, TPK	začetni dosežki z neokvarjeno roko otrok s CP so bili nižji od dosežkov zdravih vrstnikov z dominantno roko; izboljšanje ocen JT in TPK
Keller et al., 2017 [25]	N=11 CP, različne oblike (13,3 leta)	70 minut v treh dneh	kinematika, BBT, MUUL	izboljšanje dosežka pri izbrani igri na Armeo Spring in pri BBT; tudi še en dan po vadbi
El-Shamy, 2017 [26]	N=30 (6–8 let) CP, hemipareza; naključno razdeljeni v dve skupini (Armeo Spring ali običajna delovna terapija)	45 minut 3x/teden 12 tednov	MAS, QUEST	Otroci po vadbi na Armeo so dosegli značilno boljše rezultate v primerjavi z otroki v običajni terapiji.
Beretta et al., 2018 [27]	N=18 NPM, CVI, encefalitis: hemipareza (12,2 leta), povprečno 1,25 leta od poškodbe, začetka bolezni	1. del: 45 minut 5x/teden 4 tedni fizioterapija za učenje grobega in finega gibanja 2. del: 4 tedne 3 ure/dan CIMT ali 45 minut 5x/teden Armeo	QUEST, MUUL, GMFM, kinematika pri poseganju v vodoravni in navpični ravnini	funkcijsko izboljšanje v skupini CIMT največje; značilno izboljšanje pri MUUL v skupini Armeo, čeprav je bila ta skupina v izhodišču slabša; značilno izboljšanje pri QUEST po fizioterapiji
Biffi et al., 2018 [18]	N=21 (CP) 10,8 leta N=22 (NPM) 14,4 leta	45 minut 5x/teden 4 tedne	QUEST, MUUL, kinematika	klinično pomembno izboljšanje v obeh skupinah pri obeh testih; izboljšanje hitrosti, tekočem gibanju, natančnosti gibov in kinematiki gibanja (natančnost, hitrost, gladkost gibanja, učinkovitost gibanja)
Cimolin et al., 2018 [28]	N=21 CP, hemipareza kontrolna skupina (N=15)	45 minut 5x/teden 4 tedne	QUEST, MUUL, kinematika	izboljšanje pri vseh dosežkih, vključno s trajanjem gibanja, hitrostjo in gladkostjo gibanja
Roberts et al., 2020 [29]	N=31 CP, hemipareza	kombinacija CIMT z vadbo 6 ur/dan + 30 minut robotske vadbe/dan 14 dni	AHA, MUUL, COPM	klinično in statistično pomembno izboljšanje dosežkov AHA in COPM; MUUL le statistično pomembno izboljšanje; učinki so vztrajali tudi 6 mesecev po zaključku

**Legenda/Legend:** CP – cerebralna paraliza/cerebral palsy; NPM – nezgodna poškodba možganov/traumatic brain injury; QUEST – Test za oceno kakovosti funkcije zgornjega uda/Quality of Upper Extremities Skills Test; MUUL – Melbournski test za oceno enostranske funkcije roke/Melbourne Assessment of Uni-lateral Hand Function; VMI – Beery-Buktenica razvojni test za oceno vidno-motorične integracije/Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration; VPS – Test za oceno vidnega zaznavanja/Test of Visual Perceptual Skills; MKF – Mednarodna klasifikacija funkcioniranja/International classification of functioning; JTT – Jebsen-Taylor test za oceno funkcije roke/Jebsen-Taylor Test of Hand Function; BBT – Test škatle in kocke/Box and block test; AHA – Test za oceno podporne roke/Assisting Hand assessment; NPH – Test 9 zatičev/Nine Peg Hole test; TPK – Test palice in kladiva; MAS – Modificirana Ashworthova lestvica/Modified Ashworth scale; GMFM – Test za oceno grobih zmožnosti gibanja/The Gross Motor Function measure; PEDI – Vprašalnik za oceno funkcijskih zmožnosti otroka/Pediatric Evaluation of Disability Inventory; COPM – Kanadski test za ocenjevanje izvedbe dejavnosti/Canadian Occupational Performance Measure



kakovosti gibanja (21), ki ni nujno povezana z boljšo funkcijo pri otrocih s CP (22). Še posebej se je pri tej skupini otrok pomembno zavedati, da so njihove funkcijske težave zelo zapletene. Za vključevanje otrok s CP v vadbo na robotski napravi namreč poleg motenj občutenja položaja telesa izziv za izvajanje programa predstavljajo tudi težave pri načrtovanju in izvedbi gibanja, motnje vida in sluha, vidno-prostorske koordinacije, motnje pozornosti, slabše razumevanje navodil in slabše učenje. Glede na pogostnost teh motenj je treba otroke s CP usmerjeno pregledati in opraviti dodatne preiskave. Še posebej pomemben je podatek, da imajo otroci s hemiparetično obliko CP okvaro vida precej pogosto, kar v 78 % (30), redkeje pa težave pri prepoznavanju barv (31). Za izključitev homonimne hemianopsije ali težav z vidno pozornostjo na strani hemipareze pri tej skupini otrok Dutton svetuje presejanje z delom vprašalnika za presejanje otrok z motnjami vida (32): Pusti hrano na levi ali desni strani krožnika? Ali otrok težko najde začetek vrstice, ko bere? Ali težko najde naslednjo besedo, ko bere? Se težko umakne prometu? Se zaleti v podboj vrat ali delno odprta vrata? Spreglela slike ali besede na eni strani revije, knjige? (32).

Avtorji v pregled vključenih raziskav zmožnosti vida pri vključevanju otrok v terapevtski program večinoma niso upoštevali. Turconi in sodelavci so kot merilo upoštevali vidno ostrino več kot 3/10 po Snellenu, kar ustreza normalni ali le blago zmanjšani vidni ostrini (22). Ker so vključili otroke z diparetično obliko CP, po GMFCS lestvici od 1. do 4. stopnje (Lestvica za razvrščanje otrok s CP glede na grobe zmožnosti gibanja) (33), bi pri njih lahko pričakovali težave ne le pri vidni ostrini, temveč tudi pri zaznavanju vidnih dražljajev, torej pri sposobnosti razumeti, kaj vidimo, kar vpliva na načrtovanje gibanja pri aktivnosti rok (34). Upoštevali so tudi oceno kognitivnih zmožnosti in ugotovili, da imajo otroci v raziskovalni skupini precej boljše besedne kot nebesedne sposobnosti. Skupni dosežki so bili mejni glede na normativne vrednosti za zdrave vrstnike, vendar niso bili povezani s stopnjo GMFCS in MACS (Lestvica za razvrščanje otrok s CP glede na funkcijo rok (35)) (22).

Keller in sodelavci so pri naboru otrok s CP upoštevali starost, zmožnost razumevanja navodil, funkcijo rok (MACS 3. stopnja ali manj) in zmožnost, da sedijo v pokončnem položaju 45 minut (25). Izključili so otroke, ki imajo motnje vida, na svetlobo občutljivo obliko epilepsije, so bili zdravljeni kirurško ali s toksinom botulina. Funkcijske zmožnosti na področju grobega gibanja so opredelili s stopnjo GMFCS (1. do 4.), celostno funkcioniranje z Lestvico funkcijske neodvisnosti (FIM). Zanimivo je, da so v vadbo vključili zelo mešano skupino otrok s CP (tudi otroke z distonijo in ataksijo), kljub temu pa so lahko ugotovili pomembno izboljšanje tako kinematičnih značilnosti gibanja roke kot tudi funkcijskih zmožnosti, vključno s tistimi, ki jih otroci niso vadili, kar kaže na prenos naučenih funkcijskih zmožnosti gibanja. Ker je bil protokol vadbe zelo kratek (70 minut v treh dneh), ni prišlo do pomembnega izboljšanja dosežkov pri testu MUUL, hkrati pa so otroci izboljšanje ostalih dosežkov zadržali od 24 ur do največ osem dni. Upad zmožnosti je pričakovan, saj je za dolgotrajnejši učinek potreben precej daljši program. To so potrdili že Frielova in sodelavci (36), ki so uporabili enopulzno transkranično

magnetno stimulacijo (TMS) za priklic gibanja izbranih mišic prstov in zapestja okvarjene roko in potrdili, da je intenzivna vadba (strukturirana soročna CIMT 6 ur/dan, 15 dni, skupno 90 ur) značilno povečala površino motorične skorje, pri čemer je bilo povečanje vidno tako po zaključku vadbe (23,3 %) kot tudi ob ponovni oceni po šestih mesecih (34,9 %). Povečanje je bilo statistično pomembno večje od enako obsežne nestrukturirane vadbe v kontrolni skupini mladostnikov s CP. Razporeditev otrok glede na ipsilateralno ali kontralateralno inervacijo okvarjene roke je bila enakomerna med obema skupinama. Napredek otrok je bil odvisen od načina vadbe in neodvisen od strani inervacije (36). Potrdili so tudi, da se površina motorične skorje, ki je odgovorna za aktivnost okvarjene roke, brez usmerjenega programa vadbe ne spremeni. Stopnja procesov plastičnosti naj bi bila enaka pri ipsi- in kontralateralni inervaciji okvarjene roke. Ker je do funkcijskega napredka prišlo pri obeh skupinah otrok, so zaključili, da lahko do izboljšanja funkcije pride tudi brez jasnih sprememb v motorični skorji; to so potrdili že v eni od predhodnih raziskav (37). Avtorji kar nekaj raziskav (17, 18, 22) so upoštevali potrebo po večji intenzivnosti vadbe v raziskovanem obdobju.

Ena redkih raziskav z radomizirano raziskovalno in kontrolno skupino (26) je primerjala učinkovitost vadbe na Armeo Spring z običajno delovno terapijo. Pomislek ob rezultatih je ta, da so se odločili za spremljanje učinka na spastičnost z Modificirano Ashworthovo lestvico (*angl.* Modified Ashworth Scale, MAS) in kakovost gibanja s QUEST (*angl.* Quality of Upper Extremity Skills Test). Otroci v terapevtski skupini so sicer dosegli statistično značilno boljše rezultate kot tisti v kontrolni skupini ( $p < 0,05$ ). Za MAS je znano, da je zanesljivost pri ocenjevanju vprašljiva (38). Pri oceni s QUEST je bila razlika med skupinama 5,5 točke, pri čemer je najmanjša klinično pomembna razlika (MCID) za QUEST 4,89 točke (39). Vprašanje je tudi, ali je QUEST res primeren ocenjevalni instrument za oceno učinkovitosti vadbe na Armeo Spring, kar so omenjali že Turconi in sodelavci (22). Menili so, da MUUL bolje pokaže izboljšanje funkcije kot QUEST; MUUL je pripravljen za oceno funkcije, QUEST pa za oceno značilnosti gibanja; ni vpliva na moč ali spastičnost.

Cimolin in sodelavci (28) so v kontrolno skupino povabili zdrave otroke, za oceno funkcije podporne roke pa uporabili MUUL ter instrumentalno 3D-analizo gibanja med doseganjem. Tudi Picelli in sodelavci (16) so v kontrolno skupino povabili skupino zdravih otrok. Vsi vključeni otroci s CP razen enega so bili uvrščeni v 1. ali 2. stopnjo, kar pomeni, da so imeli zelo malo težav pri izvedbi različnih soročnih aktivnosti. Avtorji so za primerjavo analizirali dosežke skupine zdravih otrok, ki pa ni bila vključena v vadbni program. Ugotovili so, da imajo otroci s CP slabše dosežke tudi pri vključevanju neokvarjene roke (glede na dosežke zdravih otrok z dominantno roko), kar bi lahko bilo povezano s slabšim načrtovanjem aktivnosti na osnovi anticipacije. Funkcija neokvarjene roke pri otrocih s CP se je po vadbi na Armeo Spring izboljšala. Avtorji (16) izhajajo iz dejstva, da je načrtovanje gibanja zmožnost, da že pri prvem poskusu prijema predmeta zmoremo upoštevati zahteve naloge, tako da si pomagamo z našo notranjo podobo oz. predstavo o značilnostih tega predmeta (40). Ta koncept začne otrok razumevati že pri dveh letih in ga v celoti osvoji

že do starosti osem let (40). Jansen in sodelavci (41) menijo, da sta v načrtovanje gibanja vključeni obe polobli, kar temelji na dokazih o različnih obojestranskih in kontralateralnih aktivacijah v precentralnem girusu med gibanjem; domnevajo, da prve odražajo načrtovanje gibanja, druge njegovo izvajanje. Godwin je poročal, da otroci s CP ne uporabljajo enakih senzomotoričnih strategij za spretno gibanje rok kot zdrave osebe; uporabljali naj bi počasnejše strategije, z elementi, ki jih sicer obvladujejo že zdravi dveletniki (41). Tako sklepa tudi več avtorjev glede na izbiro začetnega oprijema, ki zagotavlja udobno držo na začetku zaporedja gibov namesto optimizacije udobja končne drže, kot je pogosto opaziti pri zdravih osebah (42). Vendar raziskave kažejo tudi, da je to z dolgotrajno vadbo mogoče tudi spremeniti (40, 43); še več, učenje predhodnih strategij, pridobljenih z neokvarjeno roko, je mogoče prenesti in uporabiti ob gibanju z okvarjeno roko (43). Glede na rezultate raziskave Picelli in sodelavci menijo, da bi bila lahko robotsko podprta vadba za neokvarjeno roko koristna za izboljšanje spretnosti rok in načrtovanja gibanja pri osebah s hemiparetično obliko CP (16). Temu v prid govorijo tudi ugotovitve raziskave Turconija s sodelavci (22). Kognitivne zmožnosti sicer niso bile ključne za izboljšanje dosežkov, vendar menijo, da ima vključevanje kognitivnih funkcij pomembno vlogo pri napredku, verjetno na račun izboljšanja strategij, ki jih otroci uporabljajo pri izvedeni aktivnosti. Poleg tega so mnenja, da se vaje na Armeo Spring nanašajo bolj na procese od »spodaj navzgor« (angl. bottom up), kjer načrtovanje, strategije in nadomestne aktivnosti manj vplivajo na zmogljivost kot na specifične vidike učinkovitosti gibanja (22).

V dve raziskavi so bili vključeni tudi otroci s hemiparezo po nezgodni poškodbi možganov ali možganski kapi (18, 29). Ti otroci so bili v program vadbe vključeni vsaj 12 mesecev po poškodbi (Tabela 1). Biffi in sodelavci so pri merilih za vključevanje otrok s CP in otrok po nezgodni poškodbi možganov (NPM) upoštevali funkcijo rok (MACS od 1. do 3. stopnje) (18). Pri kognitivnih sposobnostih so se zadovoljili s tem, da so otroci razumeli navodila, niso imeli učnih ali vedenjskih težav ter težav z vidom ali sluhom v takšni meri, da bi vplivale na njihovo funkcioniranje in sodelovanje. Otroci so bili poleg vadbe na Armeo Spring vključeni še v program fizioterapije v enakem obsegu. Analiza dosežkov otrok je pokazala, da sta MUUL in QUEST pokazala pomembno povezanost z indeksi, ki opisujejo usmerjenost gibanja, natančnost naloge in gladkost poti pri izvajanju gibanja. Povezanost po mnenju avtorjev potrjuje veljavnost teh indeksov pri ocenjevanju izida pri populaciji otrok s CP ali NPM (18), kar je skladno s pregledom literature, ki so ga opravili Tran in sodelavci (44).

Podobno so o možnosti ocenjevanja učinkovitosti vadbe na Armeo Spring razmišljali Peri in sodelavci (23). Želeli so izdelati algoritem za oceno otrokove izvedbe nalog, pri čemer so za vsak posamezni izračun dosežka (Pi) upoštevali razmerje med posameznim dosežkom pri trenutni igri (Si) in najvišjim možnim dosežkom (SiTOT) glede na razmerje med časom, potrebnim za zaključek trenutne igre (Ti), in časom, ki je na voljo za zaključek te igre (TiTOT), množeno s faktorjem D (težavnost), ki je odvisen od težavnosti trenutne igre, vrste prijema in potrebnega nadzora, ki ga potrebuje otrok med igro (23). S pomočjo dosežkov vključenih

otrok so poiskali najvišje dosežke za posamezno igro in tako primerjali različne igre. Kot izhodišče za spremljanje napredka otrok so izračunali mediano za izvedbo posamezne igre (Pi) na začetku raziskave, nato konec drugega tedna in še enkrat v četrtem tednu programa. Za oceno sočasne veljavnosti so otroke ocenili tudi s testom MUUL in potrdili povezanost med izboljšanimi vrednostmi P in dosežki pri testu MUUL (23).

Avtorji treh raziskav so preverjali učinkovitost med različnimi terapijami ali kombinacije terapij. Krishnaswamy in sodelavci so nekaj otrok poleg vadbe na Armeo Spring vključili tudi v fizioterapijo (24). Ker niso poročali o značilnostih otrok, poleg tega pa je skupina preiskovancev najmanjša od vseh v pregled vključenih raziskav, so rezultati raziskave nizke kakovosti. Bolj zanesljivi so rezultati Roberta in sodelavcev (29), ki so želeli preveriti, ali lahko s pomočjo vadbe Armeo Spring pri otrocih s hemiparetično obliko CP še povečajo učinek CIMT. Za oceno so uporabili Test za oceno podperne roke (angl. Assistive Hand Assessment, AHA) (45), MUUL in Kanadski test za ocenjevanje izvedbe dejavnosti (angl. Canadian Occupational Performance Measure, COPM) (46) – pred vadbo, po vadbi in 6 mesecev po zaključku tabora. Našli so klinično in statistično pomembno izboljšanje soročnih aktivnosti (AHA), izboljšanje izvedbe in zadovoljstva z izvedbo (COPM). Dosežki MUUL so bili statistično značilno izboljšani, ne pa tudi klinično pomembno. Učinki so vztrajali tudi šest mesecev po zaključku vadbe (29).

Beretta in sodelavke (27) so otroke in mladostnike s hemiparezo različne etiologije (Tabela 1) vključile v program fizioterapije, CIMT in Armeo Spring. Rezultati so pokazali, da je CIMT najbolj učinkovit za izboljšanje dosežkov na kliničnih funkcijskih lestvicah (predvsem izboljšanje proksimalnih gibov), fizioterapija pa za izboljšanje kinematike (predvsem vpliv na distalne gibe). Vadba na Armeo Spring je omogočila izboljšanje izvedbe nalog, ki so zahtevale gibanje v navpični ravnini. Viden je bil tudi večji trend izboljšanja učinkovitosti gibanja in zmanjšanje nadomestnih gibov v ramenskem sklepu glede na ostale terapije. Zaključili so, da so te terapevtske metode med seboj komplementarne, zato jih velja ponuditi otroku oz. mladostniku s hemiparezo v kombinaciji različnih protokolov, odvisno od zastavljenih ciljev (27).

## ZAKLJUČEK

Vadba na Armeo Spring Pediatric se vedno bolj uveljavlja v programih rehabilitacije otrok z enostransko okvaro funkcije roke v sklopu cerebralne paralize, pa tudi po nezgodni poškodbi in drugih okvarah možganov. Med merili za vključevanje se premalo upošteva morebitne motnje vida pri otrocih. Avtorji večine raziskav so uporabili daljši protokol vadbe (45 min/dan, 3–5x/teden, štiri tedne) in poročali o pomembnem izboljšanju funkcije roke. Izboljšanje so ugotovili tudi na področju izvedbe izbranih ciljev in zadovoljstva z izvedbo. Za višjo raven dokazov o učinkovitosti, predvsem z randomizacijo, ustrezno kontrolno skupino otrok in naborom ustreznih ocenjevalnih instrumentov, bodo potrebne dodatne raziskave.

## Literatura:

1. Hoare BJ, Wallen MA, Thorley MN, Jackman ML, Carey LM, Imms C. Constraint-induced movement therapy in children with unilateral cerebral palsy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;4(4):CD004149.
2. Novak I, Morgan C, Fahey M, Finch-Edmondson M, Galea C, Hines A, et al. State of the Evidence Traffic Lights 2019: systematic review of interventions for preventing and treating children with cerebral palsy. *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2020;20(2):3.
3. Ferre CL, Brandao M, Surana B, Dew AP, Moreau NG, Gordon AM. Caregiver-directed home-based intensive bimanual training in young children with unilateral spastic cerebral palsy: a randomized trial. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(5):497–504.
4. Brandao MB, Mancini MC, Ferre CL, Figueiredo PRP, Oliveira RHS, Goncalves SC, et al. Does dosage matter? A pilot study of hand-arm bimanual intensive training (HABIT) dose and dosing schedule in children with unilateral cerebral palsy. *Phys Occup Ther Pediatric.* 2018;38(3):227–42.
5. Buccino G, Arisi D, Gough P, Aprile D, Ferri C, Serotti L, et al. Improving upper limb motor functions through action observation treatment: a pilot study in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2012;54(9):822–8.
6. Sgandurra G, Ferrari A, Cossu G, Guzzetta A, Fogassi L, Cioni G. Randomized trial of observation and execution of upper extremity actions versus action alone in children with unilateral cerebral palsy. *Neurorehabil Neural Repair.* 2013;27(9):808–15.
7. Morgan C, Novak I, Badawi N. Enriched environments and motor outcomes in cerebral palsy: systematic review and meta-analysis. *Pediatrics.* 2013;132(3):e735–46.
8. Novak I, Berry J. Home program intervention effectiveness evidence. *Phys Occup Ther Pediatric.* 2014;34(4):384–9.
9. Toovey R, Bernie C, Harvey AR, McGinley JL, Spittle AJ. Task-specific gross motor skills training for ambulant school-aged children with cerebral palsy: a systematic review. *BMJ Paediatr Open.* 2017;1(1):e000078.
10. Saleem GT, Crasta JE, Slomine BS, Cantarero GL, Suskauer SJ. Transcranial direct current stimulation in pediatric motor disorders: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019;100(4):724–38.
11. Rameckers EAA, Janssen-Potten YJM, Essers IMM, Smeets RJEM. Efficacy of upper limb strengthening in children with cerebral palsy: a critical review. *Res Dev Disabil.* 2014;36:87–101.
12. Groleger Sršen K, Korelc Primc S, Brezovar D, Brodnik J, Damjan H, Pihlar Z, et al. Improvement of hand function after a constraint induced therapy. In: *From myth to evidence: final program and abstracts' book. 21st Annual Meeting of the European Academy of Childhood Disability, 3rd - 6th June 2009, Vilnius, Lithuania. Vilnius: [s. n.], 2009:46.*
13. Korelc Primc S, Groleger Sršen K. Kakšne cilje si v programu delovne terapije postavljajo otroci s cerebralno paralizo? *Rehabilitacija.* 2019;18(1):16–24.
14. Groleger Sršen K, Snedic A, Istenič A. Six months follow-up results after robotic guided training in children with unilateral impairment of upper limb. Dostopno na <https://www.egms.de/static/de/meetings/efr2019/19efr023.shtml> (citirano 15. 2. 2022).
15. Armeo Spring Pediatric. Dostopno na: <https://www.hocoma.com/solutions/armeo-spring/> (citirano 15. 2. 2022).
16. Picelli A, La Marchina E, Vangelista A, Chemello E, Modenese A, Gandolfi M, et al. Effects of robot-assisted training for the unaffected arm in patients with hemiparetic cerebral palsy: a proof-of-concept pilot study. *Behav Neurol.* 2017;2017:8349242.
17. Beretta E, Cesareo A, Biffi E, Schafer C, Galbiati S, Strazzer S. Rehabilitation upper limb in children with acquired brain injury: a preliminary comparative study. *J Healthc Eng.* 2018 Mar 14;2018:4208492.
18. Biffi E, Maghini C, Cairo B, Beretta E, Peri E, Altomonte D, et al. Movement velocity and fluidity improve after Armeo® spring rehabilitation in children affected by acquired and congenital brain diseases: an observational study. *Biomed Res Int.* 2018 Nov 18;2018:1537170.
19. Bishop L, Gordon AM, Kim H. Hand robotic therapy in children with hemiparesis: a pilot study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2017;96(1):1–7.
20. Randall M, Carlin JB, Chondros P, Reddihough D. Reliability of the Melbourne assessment of unilateral upper limb function. *Dev Med Child Neurol.* 2001;43(11):761–7.
21. DeMatteo C, Law M, Russell D, Pollock N, Rosenbaum P, Walter S. QUEST: Quality of upper extremity skills test. Hamilton: Neurodevelopmental research unit, Chedoke campus, Chedoke-McMasters hospital; 1992.
22. Turconi AC, Biffi E, Maghini C, Peri E, Servodio Iammarone F, Gagliardi C. Can new technologies improve upper limb performance in grown-up diplegic children? *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016;52(5):672–81.
23. Peri E, Biffi E, Maghini C, Servodio Iammarrone F, Gagliardi C, Germiniasi C, et al. Quantitative evaluation of performance during robot-assisted treatment. *Methods. Inf Med.* 2016;55(1):84–8.
24. Krishnaswamy S, Coletti DJ, Berlin H, Friel K. Feasibility of using an arm weight supported training system to improve hand function skills in children with hemiplegia. *Am J Occup Therapy.* 2016;70(6):7006220050p1-7006220050p7.
25. Keller JW, van Hedel HJA. Weight-supported training of the upper extremity in children with cerebral palsy: a motor learning study. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14(1):87.
26. El-Shamy SM. Efficacy of Armeo® robotic therapy versus conventional therapy on upper limb function in children with hemiplegic cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2018;97:164–9.
27. Beretta E, Cesareo A, Biffi E, Schafer C, Galbiati S, Strazzer S. Rehabilitation of upper limb in children with acquired brain injury: a preliminary comparative study. *J Healthc Eng.* 2018;2018:4208492.
28. Cimolin V, Germiniasi C, Galli M, Condoluci C, Beretta E, Piccinini L. Robot-assisted upper limb training for hemiplegic children with cerebral palsy. *J Dev Phys Disabil.* 2019;31(1):89–101.
29. Roberts H, Shierk A, Clegg NJ, Baldwin D, Smith L, Yeatts P, et al. Constraint induced movement therapy camp for children with hemiplegic cerebral palsy augmented by use of an exoskeleton to play games in virtual reality. *Phys Occup Ther Pediatr.* 2021;41(2):150–65.
30. Mercuri E, Spano M, Bruccini G, Firsone M, Trombetta J, Blandino A, et al. Visual outcome in children with congenital hemiplegia: correlation with MRI findings. *Neuropediatrics.* 1996;27(4):184–8.
31. Costa MF, Pereira JC. Correlations between color perception and motor function impairment in children with spastic cerebral palsy. *Behav Brain Funct.* 2014;10: 22.
32. Dutton GN, Calvertb J, Cockburnd D, Ibrahim H, Macintyre-Beonc C. Visual disorders in children with cerebral palsy: the implications for rehabilitation programs and school work. *Eastern J Med.* 2012;17(4):178–87.



33. Palisano RJ, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston MH. Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification system. *Dev Med Child Neurol*. 2008;50(10):744–50.
34. Auld M, Boyd R, Moseley GL, Johnston L. Seeing the gaps: a systematic review of visual perception tools for children with hemiplegia. *Disabil Rehabil*. 2011;33(19–20): 1854–65.
35. Eliasson AC, Krumlinde-Sundholm L, Rosblad B, Beckung E, Arner M, Ohrvall AM, et al. The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Dev Med Child Neurol*. 2006;48:549–54.
36. Friel KM, Kuo HC, Fuller J, Ferre CL, Brandao M, Carmel JB, et al: Skilled bimanual training drives motor cortex plasticity in children with unilateral cerebral palsy. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30(9):834–44.
37. Friel K, Chakrabarty S, Kuo HC, Martin J. Using motor behavior during an early critical period to restore skilled limb movement after damage to the corticospinal system during development. *J Neurosci*. 2012;32(27):9265–76.
38. Mutlu A, Livanelioglu A, Gunel MK. Reliability of Ashworth and Modified Ashworth scales in children with spastic cerebral palsy. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008;9:44.
39. Law M, Cadman, D, Rosenbaum P, DeMatteo C, Walter S, Russel D. Neurodevelopmental therapy and upper-extremity inhibitive casting for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1991;33:379–87.
40. Goodwin AW. Sensorimotor coordination in cerebral palsy. *Lancet*. 1999;353(9170):2090-1.
41. Janssen L, Meulenbroek RGJ, Steenbergen B. Behavioral evidence for left-hemisphere specialization of motor planning. *Exp Brain Res*. 2011;209(1):65–72.
42. Kirkpatrick EV, Pearse JE, Eyre JA, Basu AP. Motor planning ability is not related to lesion side or functional manual ability in children with hemiplegic cerebral palsy. *Exp Brain Res*. 2013;231(2):239–47.
43. Gordon AM, Charles J, Duff SV. Fingertip forces during object manipulation in children with hemiplegic cerebral palsy. II: bilateral coordination. *Dev Med & Child Neurol*. 1999;41(3):176–85.
44. Tran VD, Dario P, Mazzoleni S. Kinematic measures for upper limb robot-assisted therapy following stroke and correlations with clinical outcome measures: a review. *Med Eng Phys*. 2018;53:13–31.
45. Krumlinde-Sundholm L, Holmefur M, Kottorp A, Eliasson AC. The assisting hand assessment: current evidence of validity, reliability, and responsiveness to change. *Dev Med Child Neurol*. 2007;49(4):259–64.
46. Law M, Baptiste S, McColl M, Opzoomer A, Polatajko H, Pollock N. The Canadian occupational performance measure: an outcome measure for occupational therapy. *Can J Occup Ther*. 1990;57(2):82–7.



# UČINKOVITOST VADBE AVTOMATIZIRANE HOJE NA LOKOMATU® PRI OTROCIH (PREGLED DELA ZADNJIH 10 LET)

## EFFECTIVENESS OF AUTOMATED GAIT TRAINING FOR CHILDREN USING THE LOKOMAT DEVICE (OVERVIEW OF THE LAST 10 YEARS OF PRACTICE)

doc. dr. Katja Groleger Sršen<sup>1,2</sup>, dr. med., Varja Flander<sup>1</sup>, dipl. fiziot., Irena Pišek<sup>1</sup>, dipl. fiziot., Nataša Ciber<sup>1</sup>, dipl. fiziot., dr. Neža Majdič<sup>1</sup>, dr. med.

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

### Povzetek

#### Izhodišča:

Za otroke s cerebralno paralizo so značilne zmanjšane zmožnosti grobega gibanja, vključno s stojo in hojo. Ena od sedaj že uveljavljenih metod za izboljšanje funkcij grobega gibanja pri otrocih s cerebralno paralizo je vadba avtomatizirane hoje na robotsko vodeni napravi Lokomat®. V raziskavi smo želeli analizirati učinke te vadbe pri otrocih, ki so bili vanjo vključeni v zadnjih desetih letih.

#### Metode:

Analizirali smo rezultate meritev obsegov pasivnih gibov in testov hoje otrok, ki so vadbo opravili v obdobju od novembra 2011 do novembra 2021.

#### Rezultati:

V raziskavo smo vključili 122 otrok. Z vadbo na Lokomatu se je zmanjšal delež otrok s kontrakturami v kolkih in kolenih. Izboljšali so se poplitealni koti in gibljivost v skočnih sklepih. Otroci so dosegli tudi boljše rezultate pri Časovno merjenem testu vstani in pojdi, Testu hoje na 10 metrov in 6-minutnem testu hoje. Razlike so bile statistično značilne, pri prvih dveh testih hoje tudi klinično pomembne.

#### Zaključek:

Vadba na Lokomatu je verjetno učinkovita metoda za izboljšanje obsegov pasivnih gibov v sklepih spodnjih udov

### Abstract

#### Introduction:

Children with cerebral palsy are characterised by impaired gross motor function, including standing and walking. One of the well-established methods for improving the functions of gross movement in children with cerebral palsy is the practice of automated walking on a robot-guided device – the Lokomat. In this study, we wanted to analyse the effects of this exercise in children who have been involved in the program during the last ten years.

#### Methods:

We analysed the measurements of the range of passive movements and the results of walking tests of children who performed the exercise in the period from November 2011 to November 2021.

#### Results:

We included 122 children in the study. Exercise on the Lokomat reduced the proportion of children with hip and knee contractures, improved popliteal angles and mobility in the ankle joints. The children also achieved better results on the Timed Up and Go Test, the 10-meter Walking Test, and the 6-minute Walking Test. The differences were statistically significant; they were clinically important on the first two tests.

#### Conclusion:

Exercise on the Lokomat is probably an effective method for improving the range of passive movements in the joints of the

in izboljšanje zmožnosti hoje, vendar je treba upoštevati, da v raziskavo nismo vključili kontrolne skupine, poleg tega pa je nekaj otrok ob vadbi na Lokomatu imelo tudi program fizioterapije.

### **Ključne besede:**

cerebralna paraliza; otrok; robotsko podprta vadba hoje; Lokomat

*lower limbs and improving the ability to walk, but it should be noted that we did not include a control group in the study, and some children also had a physiotherapy program while exercising on the Lokomat.*

### **Key words:**

*cerebral palsy; children; robot-assisted gait training; Lokomat*

## **UVOD**

Cerebralna paraliza (CP) je posledica okvare otrokovih možganov v obdobju pred porodom, med porodom ali kmalu po rojstvu. Posledično pri otroku s CP najdemo zmanjšane zmožnosti nadzora drže, gibanja, zaznavanja, hranjenja, govora, vedenja in spoznavnih funkcij (1). Čeprav okvara možganov ni napredujoča, se zmožnosti grobega gibanja, mišična moč in gibljivost sklepov z leti lahko še poslabšujejo. Znano je, da v obdobju rasti skeletnega sistema otroci s CP težko vzdržujejo primerno dolžino mišic (2), zaradi česar se sčasoma razvije zmanjšan obseg gibov v kolkih in kolenih, najpogosteje pa v gležnjih (3). V slednjih se zaradi premočne aktivnosti plantarnih fleksorjev stopala ob pretiranem refleksu na nateg oz. nepravilne ko-kontrakcijske aktivnosti agonistov in antagonistov giba v gležnju razvije ekvinusni položaj oz. vzorec hoje po prstih (4, 5).

Otroci s CP imajo tudi strukturno spremenjene mišice. Te imajo manjši volumen, manjšo površino preseka, nižjo gostoto tkiva in krajši trebuh kot pa mišice zdravih posameznikov (6, 7), kar vpliva na zmanjšano zmožnost generiranja mišične moči (8–10), znižano hitrost krčenja mišice in zmanjšan obseg giba, ki ga mišica lahko izvede (7). Nyströmova in sodelavci so ugotovili, da je mišična moč najmanjša prav v mišicah za gleženj in kolk (10). Vendar še vedno ostaja nejasno, kateri so tisti elementi v mišici, ki dajejo občutek togosti mišice in prispevajo k razvoju kontrakture (11). Zdi se, da imajo otroci s CP povišane vrednosti citokinov, ki prispevajo k vnetnemu odgovoru, in gene, ki vplivajo na zunajcelični matriks njihovih skeletnih mišic, v kombinaciji s povečanim deležem intramuskularnega kolagena in zmanjšano proizvodnjo ribosomov (12). Ugotovili so tudi, da je protein titin pri otrocih s CP nespremenjen in s tem tudi pasivne mehanske lastnosti mišičnih snopov. Hkrati so bili mišični snopi, ki vključujejo mišična vlakna in pripadajoči zunajcelični matriks, bolj togi kot pri zdravih otrocih. To je bilo skladno s povečano vsebnostjo kolagena v mišicah otrok s CP, ki so jo našli z imunohistokemičnimi metodami, in vsebnostjo hidroksiprolina (13). Ugotovili so tudi, da so sarkomere pri otrocih s CP statistično značilno daljše kot pri zdravih otrocih. Ti rezultati so dokaz, da nastanek kontraktur ni posledica togosti na ravni celic, temveč na ravni zunajceličnega matriksa s povišano vsebnostjo kolagena (13).

Omejena gibljivost v sklepih spodnjih udov je eden od pomembnih zapletov v razvoju otrok s CP, zato želimo v terapevtski obravnavi preprečiti nastanek kontraktur in dolgoročno vzdrževati primeren obseg gibljivosti v sklepih spodnjih udov. Če se gibljivost v skočnih sklepih poslabša, je na voljo serijsko mavčenje z uporabo toksina botulina, katerega učinkovitost je podprta s trdnimi dokazi (11), ali brez nje. Za izboljšanje grobega gibanja (in posredno za zmožnost vzdrževanja obsega gibljivosti v sklepih) je, po zadnjem pregledu raziskav Novakove s sodelavci, otroke s CP priporočeno vključevati v usmerjeno vadbo posameznih izbranih aktivnosti grobega gibanja, v vadbo za izboljšanje mišične moči in vadbo na tekočem traku z delno razbremenitvijo telesne teže ali brez nje, v vadbo v navidezni resničnosti, v prilagojene športne dejavnosti, uporabiti toksin botulina v povezavi s fizioterapijo in jih opremiti z ortozami (11).

Vadba avtomatizirane, robotsko podprte hoje v navidezni resničnosti dandanes ni več novost. Ena od naprav, ki omogočajo takšno vadbo, je Lokomat® (14), ki je dosegljiv na trgu od leta 2000. Na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu RS – Soča ga uporabljamo od konca leta 2011. Lokomat je obojestranska robotska ortoza, ki v povezavi s tekočim trakom in z dinamično razbremenitvijo teže (preko vpetja v aktivni sistem) nadzira gibanje nog v sagitalni ravnini (gibanje kolkov in kolen). Opremljen je z dodatnim sistemom za pasivno oporo stopala, če uporabnik ne zmore aktivne dorzalne fleksije stopala v fazi zamaha (14). Hitrost tekočega traku je sinhronizirana z gibi »eksoskeleta«. Lokomat Pro (z manjšimi ortozami) omogoča funkcionalno vadbo hoje za otroke, pri čemer mora stegenica meriti od 21 do 35 cm (14). Vadba na Lokomatu je varna, vendar se občasno vendarle pojavijo nekatere neugodne posledice. Borggraefe s sodelavci je poročal, da so pri 42,7 % preiskovancev najpogosteje naleteli na rdečino kože na mestu manšet in bolečine v mišicah; pri dveh preiskovancih je prišlo do nastanka odprte rane na koži, pri dveh do bolečine v sklepih, pri enem pa do bolečine v področju tetive. Do resnih zapletov pri vadbi ni prišlo (15).

Na voljo je kar nekaj raziskav o učinkovitosti vadbe na Lokomatu pri otrocih s CP. Avtorji poročajo o napredku otrok na področju grobega gibanja (16–18), vendar so si podatki nasprotujoči. Čeprav so Borggraefe in sodelavci (16) poročali, da so po vadbi

na Lokomatu najbolj napredovali otroci, ki so bili razvrščeni v 1. in 2. stopnjo GMFCS, so van Hedel in sodelavci ugotovili, da je bil napredek največji pri otrocih v 4. stopnji GMFCS (19). Podatkov o tem, ali je 20 vadbenih enot dovolj, še ni, je pa videti, da večje število vadbenih enot omogoča večji napredek (18), ki je odvisen od stopnje GMFCS.

Družbicki in sodelavci so poročali, da so se pri na Lokomatu vadečih otrocih izboljšali hitrost hoje in obsegi pasivnih gibov v sklepih spodnjih udov, vendar ne značilno drugače kot pri otrocih, ki so bili vključeni v fizioterapijo (17). Nasprotno so Wallard in sodelavci (20) ugotovili, da so otroci z vadbo na Lokomatu dosegli pomembno boljše rezultate kot kontrolna skupina, ki je imela le običajni program fizioterapije (kinematični podatki o gibanju telesa v sagitalni in frontalni ravnini in rezultati Testa za oceno grobih zmožnosti gibanja – angl. Gross Motor Function Measure, GMFM) (21). Po vadbi na Lokomatu so otroci pri hoji uporabljali nove dinamične strategije, z bolj primernim nadzorom zgornjega dela telesa in z izboljšanjem kinematike spodnjih udov (20).

Redno vadbo na Lokomatu za otroke s CP smo na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu RS začeli novembra leta 2011. Pri rednem kliničnem delu smo opazili, da se je pri otrocih, ki so imeli ob začetku vadbe kontrakturo v sklepih spodnjih udov, obseg pasivnih gibov po zaključeni vadbi povečal. Ob prejšnjih analizah podatkov smo tudi potrdili, da otroci z vadbo na Lokomatu dobro napredujejo, pri čemer so se izboljšale tako grobe gibalne zmožnosti (22) kot zmožnosti vstajanja (23), čeprav je bil vzorec v analizo vključenih otrok majhen. Ker vadbo na Lokomatu izvajamo že 10 let, smo z analizo večjega vzorca otrok zato želeli bolj natančno oceniti, kakšen je vpliv te vadbe na obseg gibljivosti sklepov spodnjih udov. Poleg tega smo želeli preveriti morebitni vpliv vadbe na zmožnosti vstajanja in hoje, kar smo v kliničnem delu začeli bolj redno ocenjevati v zadnjih letih.

## METODE

### Preiskovanci

V raziskavi smo retrospektivno iz dokumentacije zbrali rezultate meritev pasivne gibljivosti sklepov spodnjih udov pri skupini otrok in mladostnikov s CP (do starosti 18 let), ki so bili v trening avtomatizirane hoje na Lokomatu vključeni v obdobju od novembra 2011 do novembra 2021. Dodatno smo zbrali podatke o stopnji zmožnosti grobega gibanja (angl. Gross Motor Classification System, GMFCS) (24) in dosežkih pri testiranju zmožnosti vstajanja in hoje, kjer so bili na voljo.

Za vključitev otrok v program vadbe na Lokomatu smo upoštevali naslednja merila: težave pri hoji, zvišan mišični tonus, zmanjšana pasivna gibljivost vsaj v enem ali več sklepih spodnjih udov. V program nismo vključili otrok, ki so bili premajhni (prekratka stegenica, manj kot 21 cm), so imeli izrazito motnjo pozornosti, pomembno znižane zmožnosti razumevanja in sodelovanja v programu, fiksne kontrakturo več kot 20° v kolkah ali kolenih ali primarni fleksijski vzorec drže in gibanja (znižanje spastično

zvišanega tonusa pri treningu na Lokomatu lahko povzroči pomembno poslabšanje vzorca hoje).

### Ocenjevalni instrumenti

Otrok je pred vključitvijo v program opravil pregled pri eni od oddelčnih zdravnic, specialistk fizikalne in rehabilitacijske medicine, ki je otroka z diagnozo cerebralna paraliza na osnovi sposobnosti gibanja razvrstila v eno od petih stopenj GMFCS. Pri vseh vključenih otrocih smo opravili meritve pasivne gibljivosti. Časovno merjene teste hoje smo izvedli pri otrocih, ki so jih zmogli opraviti.

Pri *meritvah obsega pasivne gibljivosti* v posameznih sklepih spodnjih udov smo upoštevali, da je to tisti obseg giba, ki ga izvede preiskovalec brez hotene mišične aktivnosti preiskovanca. Za meritve smo uporabili goniometer. Izmerili smo obseg fleksije in ekstenzije v kolku, fleksije in ekstenzije v kolenu, unilateralni in bilateralni poplitealni kot ter dorzalno fleksijo stopala pri pokrčenem in iztegnjenem kolenu. Unilateralni poplitealni kot v kolenu smo izmerili tako, da je bil pri merjeni nogi kolk pod kotom 90°, nasprotna noga pa iztegnjena na podlagi. Bilateralni poplitealni kot kolena smo izmerili tako, da sta bila kolka obeh nog pokrčena za 90°. Nogo, na kateri smo merili poplitealni kot, smo v obeh primerih meritev iztegovali v kolenu, dokler nismo začutili povečanega upora oziroma t. i. konca giba.

S *Časovno merjenim testom vstani in pojdi* (angl. Timed Up and Go test, TUG) (25) ocenjujemo sposobnost spreminjanja položajev in sposobnost hoje. Test vsebuje pet aktivnosti: preiskovanec vstane s stola, prehodi razdaljo treh metrov, se obrne, vrne na izhodišče in ponovno sede (25, 26) ter tako združuje veliko elementov ravnotežja. Test so sprva uporabljali pri starejših, kasneje tudi pri otrocih (27), za katere so pripravili tudi normativne vrednosti (28). *Test hitrosti hoje na 10 metrov* (angl. 10-meters walk test, 10mWT) (29) sodi med teste za oceno sposobnosti hoje; z izračunom hitrosti hoje ocenimo funkcijo hoje. Pri 10mWT merimo čas (v sekundah), ki je potreben za hojo na razdalji 10 m, iz česar izračunamo hitrost hoje. Za merjenje časa uporabimo ročni kronometer. Preiskovanec prehodi naravnost 14 m, brez pomoči ali spremstva fizioterapevta. Meriti začnemo, ko preiskovanec prestopi oznako za 2 m, in prenehamo, ko prestopi oznako za 12 metrov (30). Z uporabo nekaj metrov daljše proge in merjenjem trajanja hoje čez osrednjih 10 m izključimo odzivni čas ter vpliv pospeševanja na začetku in zaviranja na koncu proge (31). Test je hiter, občutljiv na spremembe hoje in celostni kazalnik zmanjšane zmožnosti. Ker lahko s testom hoje na 10 m precenimo sposobnost za hojo na daljše razdalje, je za bolj celostno oceno treba oceniti tudi vzdržljivost pri hoji (30).

Za oceno vzdržljivosti smo uporabili *6-minutni test hoje* (angl. 6-minutes walk test, 6MWT) (32), ki smo ga izvajali na vsaj 30 m dolgem hodniku. Po standardnem postopku izmerimo razdaljo, ki jo preiskovanec prehodi v šestih minutah (32). Večina preiskovancev pri izvajanju testa ne doseže svoje največje telesne zmogljivosti (33), zato 6MWT velja za submaksimalni test.

## Protokol dela

Otroci so bili po opravljenem pregledu, meritvah in testih vključeni v program vadbe na Lokomatu. Opravili naj bi od štiri do pet vadbenih enot na teden, v obdobju štirih tednov rehabilitacije. Glede na otrokove sposobnosti (utrujanje med treningom, sposobnost aktivne hoje na Lokomatu, sposobnost tekočega recipročnega gibanja, spastično zvišan tonus mišic) smo prilagodili dolžino posamičnega treninga (od 30 do 45 minut), hitrost hoje, prehojeno razdaljo in razbremenitev teže. Po zaključenem programu smo ponovili vse začetne meritve in teste.

## Analiza podatkov

Za zbiranje in analizo podatkov ter pripravo grafičnih prikazov smo uporabili elektronsko preglednico Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corp., Redmond, WA, ZDA, 2019) in statistični programski paket R studio (R version 4.1.2). Za obravnavane spremenljivke smo izračunali opisne statistike. Za grafični prikaz testov hoje smo izračunali relativno izboljšanje (absolutno izboljšanje, deljeno z rezultatom testiranja pred treningom). Za vrednotenje izboljšanja številskih spremenljivk smo uporabili neparametrični eksaktni Wilcoxonov test predznačenih rangov (EWTTPR). Pri izračunu deleža izboljšanja kontrakture smo število otrok, pri katerih je prišlo do izboljšanja, delili s številom otrok s kontrakturo pred treningom na Lokomatu. Mejo statistične značilnosti smo postavili pri  $p = 0,05$ .

## Rezultati

V obdobju od novembra 2011 do novembra 2021 smo v trening avtomatizirane hoje na Lokomatu vključili 122 otrok s cerebralno paralizo (38 deklic in 85 dečkov), starih od šest do 13 let (povprečje 10,0 leta, standardni odklon 4,0). Razvrstili smo jih glede na funkcijo grobega gibanja (GMFCS) (Tabela 1). Nekaj manj kot polovica otrok je zmogla samostojno hojo brez pripomočkov, ostali pa le s pripomočkom (3. stopnja GMFCS) ali s pripomočkom ter dodatno podporo in vodenjem odrasle osebe (4. stopnja GMFCS). Skoraj dve tretjini otrok sta bili vključeni v bolnišnični program (4–5x/teden, štiri tedne), tretjina pa v ambulantno (2x/teden, osem tednov). V povprečju so opravili 15,6 vadbenih enot (najmanj 4, največ 20; SO 3,9). V analizi podatkov smo upoštevali vse otroke, ne glede na število opravljenih vadbenih enot.

Statistično značilno se je izboljšal pasivni obseg gibljivosti v kolenih (poplitealni koti) in skočnih sklepih (Tabela 2). Ob tem se je zmanjšalo tudi število otrok s kontrakturami v kolkih in kolenih (Tabela 3), vendar zaradi nizkih frekvenc nismo mogli narediti hi-kvadrat testa za potrditev morebitnih statistično značilnih razlik.

Test vstani in pojdi (TUG) in test hoje na 10 metrov (10mWT) je lahko opravila tretjina otrok, 6-minutni test hoje (6MWT) pa le 28 otrok. Razvrstitev teh otrok v posamezno stopnjo GMFCS je predstavljena v Tabeli 4. Izboljšanje dosežkov po zaključeni vadbi na Lokomatu je bilo pri vseh treh testih statistično značilno (Tabela 5). Relativno izboljšanje dosežkov pri testih hoje po vadbi na Lokomatu je prikazano na Sliki 1. Zaradi majhnega števila

otrok, ki so lahko opravili ta del testiranja, izboljšanja dosežkov nismo mogli oceniti z analizo varianc. Relativno izboljšanje (absolutno izboljšanje, deljeno z rezultatom testiranja pred treningom; mediana, odebeljena črta na škatlastih diagramih) je bilo pri vseh treh testih večje pri otrocih v 1. in 3. stopnji GMFCS. Razpon relativnega izboljšanja je pri TUG največji pri otrocih v 2. stopnji GMFCS, pri 10mWT in 6MWT pa v 1. stopnji GMFCS (Slika 1).

**Tabela 1:** Razvrstitev otrok s cerebralno paralizo v stopnje glede na grobe gibalne zmožnosti.

**Table 1:** Distribution of children with cerebral palsy based on gross motor function level.

GMFCS stopnja/GMFCS level	Število (delež)/ Number (proportion)
I	22 (18,0 %)
II	35 (28,7 %)
III	27 (22,1 %)
IV	38 (31,1 %)

**Legenda/Legend:** GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na grobe zmožnosti gibanja/The Gross Motor Function Classification System

**Tabela 2:** Obseg pasivne gibljivosti v kolenu in gležnju pred vadbo na Lokomatu in po njej.

**Table 2:** Range of movement in knee and ankle before and after the Lokomat training.

Obseg pasivne gibljivosti/ Passive range of movement	Pred vadbo/ Before training	Po vadbi/ After training
PU levo/left	130 (120–140)	135 (125–145)*
PU desno/right	130 (120–142)	135 (125–145)*
PB levo/left	143 (135–155)	150 (140–160)*
PB desno/right	145 (135–155)	150 (140–160)*
DF s pokrčenim kolonom levo/ DF with flexed knee left	20 (15–25)	20 (20–30)*
DF s pokrčenim kolonom desno/ DF with flexed knee right	20 (10–25)	20 (20–30)*
DF s iztegnjenim kolonom levo/ DF with extended knee left	20 (10–25)	21 (20–30)*
DF s iztegnjenim kolonom desno/ DF with extended knee right	7,5 (5–15)	10 (6,3–18,8)*

**Opomba/Note:** vrednosti so mediane (interkvartilni razpon)/values are median (interquartile range IQR)

**Opomba/Note:** vrednost  $p^*/p^*$  value < 0,001

**Legenda/Legend:** PU – poplitearni kot unilaterarno/popliteal angle unilateral; PB – poplitearni kot bilaterarno/popliteal angle bilateral; DF – dorsalna fleksija stopala/dorsal flexion of foot



**Tabela 3:** Število in delež otrok s kontrakturami pred vadbo na Lokomatu in po njej.**Table 3:** Number and proportion of children with contractures before and after the Lokomat training.

GMFCS stopnja/ level		I	II	III	IV
Število/Number		20	16	18	23
Levi kolk/ Left hip	Pred vadbo/ Before training	6 (30 %)	9 (56 %)	16 (89 %)	17 (74 %)
	Po vadbi/ After training	2 (10 %)	4 (25 %)	11 (61 %)	13 (57 %)
	Izboljšanje/ Improvement	4 (67 %)	8 (89 %)	14 (88 %)	11 (65 %)
Desni kolk/ Right hip	Pred vadbo/ Before training	6 (30 %)	9 (56 %)	15 (83 %)	17 (74 %)
	Po vadbi/ After training	3 (15 %)	4 (25 %)	9 (50 %)	13 (57 %)
	Izboljšanje/ Improvement	6 (100 %)	8 (89 %)	13 (87 %)	8 (47 %)
Levo koleno/ Left knee	Pred vadbo/ Before training	6 (30 %)	4 (25 %)	5 (28 %)	15 (68 %)
	Po vadbi/ After training	6 (30 %)	4 (25 %)	5 (28 %)	15 (68 %)
	Izboljšanje/ Improvement	3 (50 %)	2 (50 %)	2 (40 %)	5 (33 %)
Desno koleno/ Right knee	Pred vadbo/ Before training	8 (40 %)	4 (25 %)	7 (39 %)	17 (74 %)
	Po vadbi/ After training	8 (40 %)	4 (25 %)	6 (33 %)	16 (70 %)
	Izboljšanje/ Improvement	4 (50 %)	2 (50 %)	4 (57 %)	10 (59 %)

**Legenda/Legend:** GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na zmožnosti grobega gibanja; Gross Motor Function Classification System

**Tabela 4:** Število otrok, ki so opravili teste hoje glede na stopnjo grobih zmožnosti gibanja.**Table 4:** Number of children tested with walk tests based on gross motor function level.

Test	GMFCS stopnja in število otrok / GMFCS level and number of children			
	I	II	III	IV
TUG	9	20	11	1
10mWT	9	20	11	1
6MWT	9	15	3	1

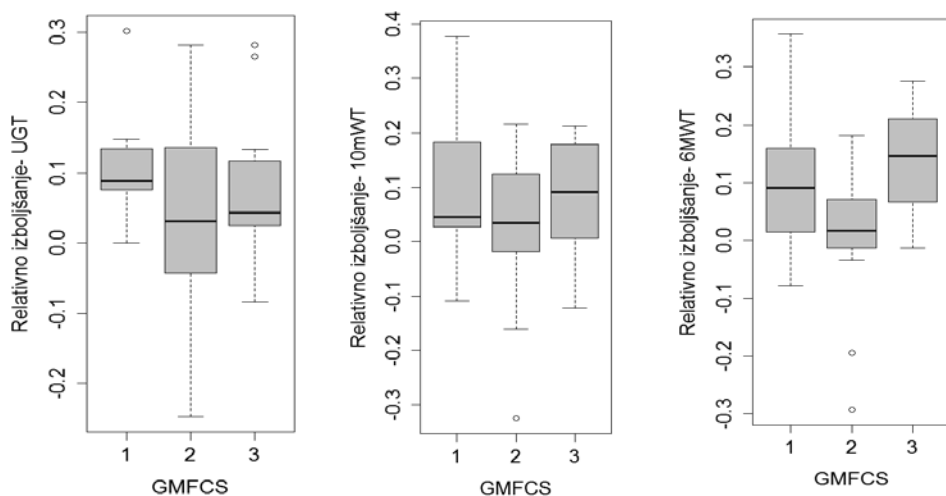
**Legenda/Legend:** GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na grobe zmožnosti gibanja/ The Gross Motor Function Classification System; TUG – Časovno merjeni test vstani in pojdi/Timed Up and Go test; 6MWT – 6 minutni test hoje/6-minutes walk test; 10mWT – Test hitrosti hoje na 10 metrov/10-meters walk test.

**Tabela 5:** Dosežki otrok pri testih hoje pred vadbo na Lokomatu in po njej.**Table 5:** Results of children at testing before and after the Lokomat training.

Test (N)	Pred vadbo/Before training	Po vadbi/ After training	Vrednost p*/p* value
TUG, sekunde/seconds (n=42)	7,8 (6,8–9,3)	7,0 (6,2–8,2)	<0,001
10mWT, sekunde/seconds (n=42)	7,5 (6,4–9,0)	7,2 (6,1–8,0)	<0,001
6MWT, metri/meters (n=28)	393,5 (348,3–422,5)	403,5 (363,0–450,0)	0,018

**Opomba/Note:** vrednosti so mediane (interkvartilni razpon)/values are median (interquartile range IQR); \*eksaktni Wilcoxonov test predznačenih rangov/Wilcoxon signed-rank test or paired t test.

**Legenda/Legend:** TUG – Časovno merjeni test vstani in pojdi/Timed Up and Go test; 6MWT – 6-minutni test hoje/6-minutes walk test; 10mWT – Test hitrosti hoje na 10 metrov/10-meters walk test

**Slika 1:** Relativno izboljšanje dosežkov pri testih hoje po vadbi na Lokomatu.**Figure 1:** Relative improvement of results at testing after the Lokomat training.

## Razprava

Z analizo večjega vzorca otrok s CP smo želeli izvedeti, ali lahko z vadbo na Lokomatu pri njih izboljšamo obseg gibljivosti sklepov spodnjih udov. Poleg tega smo želeli preveriti, ali se izboljša njihova zmožnost vstajanja in hoje.

V vadbo na Lokomatu v redni klinični praksi vključujemo otroke s CP, ki imajo spremenjen vzorec hoje, ne glede na to, ali za hojo potrebujejo pripomočke ali zmorejo samostojno hojo. Glede na to je bila tudi porazdelitev otrok v posamezne stopnje GMFCS kar enakomerna (od 18 do 31 %). Otroke s CP podobnih zmožnosti grobega gibanja so v raziskave vključevali tudi drugi avtorji (16, 18).

Pri otrocih s CP se pogosto razvijejo kontrakture v sklepih spodnjih udov (33). Otroci v 1. in 2. stopnji GMFCS imajo običajno kontrakture v skočnih sklepih, otroci v 3. in 4. stopnji GMFCS pogosteje tudi kontrakture v kolkih in kolenih (34). Skladni s tem so podatki v našo raziskavo vključenih otrok: 39 % jih je imelo kontrakture v kolkih, 29,5 % kontrakture v kolenih (Tabela 3). Izboljšanje teh kontraktur bi bilo zelo verjetno statistično značilno, vendar tega nismo mogli potrditi. Ob zaključku vadbe je bilo vendarle precej otrok, ki kontraktur niso imeli več. Do izboljšanja je prišlo pri otrocih v vseh stopnjah GMFCS, trend

izboljšanja po stopnjah pa ni povsem jasen. V kolkih je bil delež izboljšanja višji v 2. in 3. stopnji GMFCS, sledili so otroci v 1. stopnji, nato pa otroci v 4. stopnji GMFCS. Nizko število otrok v 1. stopnji GMFCS je sicer skladno s tem, da ti otroci redkeje razvijejo kontrakture v kolkih (30 % vseh vključenih v primerjavi z višjimi deleži otrok v ostalih stopnjah), je pa delež izboljšanj zato manj zanesljiv za primerjavo glede na deleže otrok v ostalih stopnjah GMFCS.

Delež otrok s kontrakturami v kolenih je bil visok predvsem v 4. stopnji GMFCS (Tabela 3), kar je pričakovano glede na njihove zmožnosti gibanja. Otroci v tej stopnji ne zmorejo samostojne stoji, stopajo pa lahko le z uporabo pripomočkov ter ob pomoči in vodenju druge osebe. To pomeni, da so preko dneva večinoma v sedečem položaju, ki jim ne omogoča zadostnega raztezanja fleksorjev kolen. V obdobju otrokove hitreje rasti med 10. in 12. letom (kar sovпада s povprečno starostjo vključenih otrok) se pri otrocih s CP zaradi že omenjenih dejavnikov (12, 13) kontrakture razvijejo še hitreje in pogosteje. Podatkov o tem, koliko je meja za klinično pomembno izboljšanje obsega gibljivosti v posameznih sklepih spodnjih udov pri otrocih s CP, nismo našli, je pa vendarle znano, da prisotnost teh kontraktur pomembno vpliva na zmožnost hoje (35).

Obseg poplitealnih kotov je pomemben dejavnik, ki omogoča dovolj poravnan položaj kolen pri dostopu in v fazi opore. Pri otrocih s CP nas skrbi predvsem poslabšanje vzorca hoje do te mere, da nastane t. i. pokrčeni vzorec (*angl.* crouch gait), kar vodi v nenormalne mehanske obremenitve v kolenu, kolčnih in gleženjskih sklepkih, to pa v nastanek bolečine v sklepkih, obrabo sklepov in deformacije kosti (36). Vadba na Lokomatu je pri vključenih otrocih s CP pomembno izboljšala obseg poplitealnih kotov (Tabela 2), vendar velja opozoriti, da so že izhodiščne vrednosti v povprečju nižje kot v populaciji otrok s CP, ki jo redno spremljajo na Švedskem (37). Fosdahlova in sodelavci so namreč poročali o krivuljah spreminjanja poplitealnega kota pri 419 otrocih s CP v 1. do 3. stopnji GMFCS (37). Povprečni poplitealni kot pri osemletnih otrocih v 3. stopnji je znašal  $139^\circ$  (95-odstotni interval zaupanja  $141^\circ$ – $137^\circ$ ), kar po švedskih smernicah pomeni, da je že potrebno bolj pogosto spremljanje otrok in po potrebi tudi ukrepanje (37). Povprečje obsega poplitealnega kota je pri otrocih v 2. in 1. stopnji GMFCS za  $5^\circ$  višje (37). V Tabeli 2 so navedene povprečne vrednosti za vse otroke, torej tudi tiste v 4. stopnji GMFCS, kar gotovo vpliva na nižje povprečne vrednosti obsega poplitealnega kota pri otrocih v naši raziskavi. Krivulje vrednosti poplitealnega kota se s starostjo po 12. letu postopno izravnajo, do 14. leta razlike med skupinami izzvenijo in poplitealni koti znašajo okrog  $130^\circ$  (37). Avtorji menijo, da so tako izravnane krivulje v tej starosti posledica postopnega zmanjševanja spastičnosti po šestem letu starosti, kar naj bi zmanjševalo tveganje za razvoj kontraktur (38). Trend ustavljanja poslabševanja je tako počasen, da to ne more biti vzrok za izboljšanje povprečnih poplitealnih kotov po opravljeni vadbi na Lokomatu.

Testov hoje v rutinskem kliničnem delu sicer nismo opravili pri vseh otrocih (Tabela 4), ki so bili vključeni v vadbo na Lokomatu. Bolj sistematično smo jih začeli izvajati šele v zadnjih letih. Zanimivo je, da je bilo relativno izboljšanje pri vseh treh testih večje pri otrocih v 1. in 3. stopnji GMFCS (Slika 1). Tega trenda ne znamo pojasniti, saj bi za bolj zanesljive zaključke potrebovali večji vzorec otrok z opravljenimi testi hoje.

Dosežek pri Časovno merjenem testu vstani in pojdi (TUG) se je po vadbi na Lokomatu v povprečju izboljšal za 0,8 sekunde. Itzkowitzeva in sodelavci so testirali 1481 zdravih otrok in pripravili normativne vrednosti za TUG (28). Ker normativnih vrednosti za otroke s CP v dostopni literaturi nismo našli, si vsaj v grobem morda lahko pomagamo s slednjimi. Otroci so bili stari od pet do 13 let; v povprečju so dečki TUG izvedli v  $6,46 \pm 1,16$  sekunde, deklice pa v  $6,68 \pm 1,07$  sekunde. Glede na povprečno starost otrok v našem vzorcu 10,0 leta (SO 4.0) so otroci s CP, ki so lahko hodili, test opravili statistično pomembno počasneje (Tabela 5).

Hassanijeva s sodelavci je s TUG testirala skupino 166 otrok s CP, s povprečno starostjo 12 let in 11 mesecev (SO 2 leti 7 mesecev) (40). Otroci v 1. stopnji GMFCS so dosegli povprečni čas 7,4 sekunde (SO 1,5), otroci v 2. stopnji 8,9 sekunde (SO 8,9), otroci v 3. stopnji pa 23,2 sekunde (SO 14,3). Izračunali so tudi minimalno klinično pomembno razliko (MCID), ki je za posamezno stopnjo (po vrsti podatki za srednji in veliki učinek): 1,1/1,7; 0,7/1,2; 1,2/1,9. Glede na te vrednosti in ob upoštevanju, da so bili v naš

vzorec vključeni tudi otroci v 4. stopnji GMFCS, menimo, da je imela vadba na Lokomatu tudi velik klinično pomemben učinek.

Statistično značilno izboljšanje so otroci po vadbi na Lokomatu dosegli tudi pri hoji na 10 metrov; čas se je v povprečju skrajšal za 0,3 sekunde. Thompsonova s sodelavci (41) je pred časom ovrednotila zanesljivost med ocenjevanji z 10mWT. Vključili so 31 otrok s CP v 1. do 3. stopnji GMFCS, ki so v povprečju dosegli čas (po stopnjah): 5,9 s (SO 1,0); 9,6 s (SO 2,8); 16,0 s (SO 13,7). Ob ponovnem testiranju se je pokazalo, da je zanesljivost testa slabša (ICC=0,81), vendar pri testiranju niso predvideli začetne razdalje dveh metrov, da bi preiskovanci lahko dosegli stabilno hitrost. To bi lahko pri otrocih s spastično obliko CP predstavljalo vir večje variabilnosti rezultatov, kar je morda vzrok za to, da je bila povprečna hitrost otrok v naši raziskavi kar visoka, nekje med povprečji za 1. in 2. stopnjo skupine otrok s CP v raziskavi Thompsonove s sodelavci (41). Podobno je Družbicki s sodelavci poročal o rezultatih kontrolirane randomizirane raziskave o učinkovitosti vadbe na Lokomatu, v kombinaciji s fizioterapijo ali brez nje, pri 52 otrocih s CP (17). Otroci, ki so bili vključeni v obe obliki vadbe, so ob zaključku raziskave dosegli večjo hitrost hoje, vendar razlike niso bile statistično značilne. Pri obeh skupinah se je izboljšal tudi obseg pasivnih gibov v sklepkih spodnjih udov, vendar razlike med skupinama niso bile statistično značilne (17).

V raziskavi Thompsonove so preverili tudi zanesljivost testiranja s 6MWT, ki se je izkazala za odlično, z MCID 61,9 m; 64,0 m in 47,4 m za 1. do 3. stopnjo GMFCS (41). V povprečju otroci v naši raziskavi niso dosegli meje za MCID, čeprav je bila razlika v dosežkih statistično značilna. Na te rezultate bi lahko vplivali morebitni slabši zaključni dosežki otrok, ki so bili v program vadbe vključeni ambulantno in so imeli nižjo intenzivnost vadbe (2x/teden, osem tednov), oz. dosežki otrok, ki so opravili le nekaj vadbenih enot (od štiri do devet). Te povezanosti v tokratni analizi nismo ocenjevali, prav tako nismo izključili otrok, ki so imeli manj ur vadbe. Druga verjetna razlaga za te dosežke je tudi ta, da bolnišnični režim vadbe (4–5x/teden, štiri tedne) ni dovolj, da bi se pri otrocih vzdržljivost pomembno izboljšala. V prid temu govorijo tudi rezultati Žen Jurančičeve s sodelavci, ki je z obremenilnim testiranjem otrok s CP pred vadbo na Lokomatu in po njej ugotovila le trend izboljšanja telesne pripravljenosti, ki pa ni bil statistično značilen (42).

Med slabosti raziskave gotovo štejejo pomanjkljivi podatki, predvsem pri testih hoje. Ta del testiranja pred časom ni bil del rutinskega kliničnega dela. Več testiranih otrok bi gotovo prispevalo k zanesljivosti podatkov o napredku otrok pri vadbi na Lokomatu. Manjkajo tudi podatki o testiranju grobih zmognosti gibanja (Gross Motor Function Measure, GMFM) (21), ki ga uporabljajo v večini raziskav v tujini (16, 18, 20). To testiranje je sicer precej zamudno, traja namreč vsaj 45 minut, pri otrocih, ki imajo več težav pri gibanju in pridružene nižje kognitivne spodobnosti, pa še dlje, če ga sploh zmorejo opraviti. Slabost je tudi odsotnost kontrolne skupine, ki je zaradi retrospektivne analize nismo imeli. Dodatno pomembnost ugotovljenih rezultatov lahko zmanjša dejstvo, da je imelo nekaj otrok ob vadbi na Lokomatu, predvsem v zadnjih

letih, tudi program fizioterapije, zato učinkov ene in druge vadbe ne moremo ločiti.

## ZAKLJUČEK

Obsegi pasivnih gibov v vseh sklepah spodnjih udov pri otrocih s cerebralno paralizo, ki so opravili štiritedenski program vadbe na Lokomatu®, so se statistično pomembno izboljšali. Izboljšali so se tudi dosežki pri testih hoje. V prihodnosti bi bilo treba analizirati tudi morebitno razliko v dosežkih glede na intenzivnost vadbe, pa tudi učinek večkrat ponovljene vadbe v daljšem časovnem obdobju.

### Literatura:

- Carr LJ, Reddy SK, Stevens S, Blair E, Love S. Definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 2005;47(8):508–10.
- Nyström Eek M, Beckung E. Walking ability is related to muscle strength in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2008;28(3):366–71.
- Wiley ME, Damiano DL. Lower-extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 1998;40:100–7.
- Singer BJ, Singer KP, Allison GT. Evaluation of extensibility, passive torque and stretch reflex responses in triceps surae muscles following serial casting to correct spastic equinovarus deformity. *Brain Inj.* 2003;17(4):309–24.
- Park ES, Rha D, Yoo JK, Kim SM, Chang WH, Song SH. Short-term effects of combined serial casting and botulinum toxin injection for spastic equinus in ambulatory children with cerebral palsy. *Yonsei Med J.* 2010;51(4):579–84.
- Barrett RS, Lichtwark GA. Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neur.* 2010;52:794–804.
- Moreau NG, Teefey SA, Damiano DL. In vivo muscle architecture and size of the rectus femoris and vastus lateralis in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 2009;51:800–6.
- Brower B, Wheeldon RK, Stradiotto-Parker N, Allum J. Reflex excitability and isometric force production in cerebral palsy: the effect of serial casting. *Dev Med Child Neur.* 1988;40:168–75.
- Wiley ME, Damiano DL. Lower-extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 1998;40:100–7.
- Nyström Eek M, Beckung E. Walking ability is related to muscle strength in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2008;28(3):66–71.
- Novak I, McIntyre S, Morgan C, Campbell L, Dark L, Morton N, et al. A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: state of the evidence. *Dev Med Child Neurol.* 2013;55(10):885–910.
- Mathewson MA, Lieber RL. Pathophysiology of muscle contractures in cerebral palsy. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2015;26(1):57–67.
- Smith LR, Lee KS, Ward SR, Chambers HG, Lieber RL. Hamstring contractures in children with spastic cerebral palsy result from a stiffer extracellular matrix and increased in vivo sarcomere length. *J Physiol.* 2011;589(10):2625–39.
- A world leader of advanced technologies for movement rehabilitation. Hocoma. Dostopno na: <http://hocoma.com/> (citirano 10. 1. 2022).
- Borggraefe I, Klaiber M, Schuler T, Warken B, Schroeder SA, Heinen F, et al. Safety of robotic-assisted treadmill therapy in children and adolescents with gait impairment: a bi-centre survey. *Dev Neurorehabil.* 2010;13(2):114–9.
- Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Dabrowski E, Ammann-Reiffner C, Knecht B, et al. A robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol.* 2010;14(6):496–502.
- Druzicki M, Rusek W, Snela S, Dudek J, Szczepanik M, Zak E, et al. Functional effects of robotic-assisted locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy. *J Rehabil Med.* 2013;45(4):358–63.
- Klobucká S, Klobucký R, Kollár B. Effect of robot-assisted gait training on motor functions in adolescent and young adult patients with bilateral spastic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation.* 2020;47(4):495–508.
- Van Hedel HJ, Meyer-Heim A, Rüscher-Bohtz C. Robot-assisted gait training might be beneficial for more severely affected children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil.* 2016;19(6):410–5.
- Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, Bredin J. Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol.* 2017;21(3):557–64.
- Russell DJ, Rosenbaum PL, Avery LM, Lane M. *Gross Motor Function Measure (GMFM-66 & GMFM-88) Users Manual.* London: Mac Keith; 2002.
- Žarković D, Sorfova M, Tufano JJ, Kutilek P, Viteckova S, Groleger-Sršen K, et al. Effect of robot-assisted gait training on selective voluntary motor control in ambulatory children with cerebral palsy. *Indian Pediatr.* 2020;57(10):964–6.
- Vrečar I, Majdič N, Jemec Štukl I, Damjan H, Groleger Sršen K. Spremembe pasivne gibljivosti sklepov spodnjih udov pri otrocih s cerebralno paralizo po intenzivni vadbi na Lokomatu. *Rehabilitacija.* 2013;12(3):38–45.
- Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 1997;39:214–23.
- Mathias S, Noyak USL, Isaacs B. Balance in elderly patients: the »Get Up and Go« test. *Arch Phys Med Rehabil.* 1986;67:387–9.
- Podsiadlo D, Richardson S. The timed »Up & Go«: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatrics Soc.* 1991;39:142–8.
- Verbecque E, Schepens K, Theré J, Schepens B, Klingels K, Halleman A. The Timed Up and Go test in children: does protocol choice matter? A systematic review. *Pediatr Phys Ther.* 2019;31(1):22–31.
- Itzkowitz A, Kaplan S, Doyle M, Weingarten G, Lieberstein M, Covino F, et al. Timed Up and Go. Reference data for children who are school age. *Pediatr Phys Ther.* 2016;28(2):239–46.
- Sullivan JE, Crowner BE, Kluding PM, Nichols DKR, Rose DK, Yoshida R, et al. Outcome measures for individuals with stroke: process and recommendations from the American Physical Therapy Association neurology section task force. *Phys Ther.* 2013;93(10):1383–96.
- Puh U. Test hoje na 10 metrov. *Fizioterapija.* 2014;22(1):45–54.
- Bohannon RW, Williams A. Normal walking speed: a descriptive meta-analysis. *Physiotherapy.* 2011;97:182–9.
- Guyatt GH, Sullivan MJ, Thompson PJ, Fallen EL, Pugsley SO, Taylor DW, et al. The six minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Can Med Assoc J.* 1985;132(8):919–23.



33. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166(1):111–7.
34. Østensjø S, Carlberg EB, Vøllestad NK. Motor impairments in young children with cerebral palsy: relationship to gross motor function and everyday activities. *Dev Med Child Neur.* 2004;46:580–9.
35. Holmes SJ, Mudge AJ, Wojciechowski EA, Axt MW, Burns J. Impact of multilevel joint contractures of the hips, knees and ankles on the Gait Profile score in children with cerebral palsy. *Clin Biomech.* 2018;59:8–14.
36. Opheim A, Jahnsen R, Olsson E, Stanghelle JK. Walking function, pain, and fatigue in adults with cerebral palsy: a 7-year follow-up study. *Dev Med Child Neurol.* 2009;51(5):381–8.
37. Fosdahl MA, Jahnsen R, Pripp AH, Holm I. Change in popliteal angle and hamstrings spasticity during childhood in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy. A register-based cohort study. *BMC Pediatr.* 2020;20(1):11.
38. Hagglund G, Wagner P. Spasticity of the gastrosoleus muscle is related to the development of reduced passive dorsiflexion of the ankle in children with cerebral palsy: a registry analysis of 2,796 examinations in 355 children. *Acta Orthop.* 2011;82(6):744–8.
39. Linden O, Hagglund G, Rodby-Bousquet E, Wagner P. The development of spasticity with age in 4,162 children with cerebral palsy: a register-based prospective cohort study. *Acta Orthop.* 2019:1–10.
40. Hassani S, Krzak JJ, Johnson B, Flanagan A, Gorton G 3rd, Bagley A, et al. One-Minute Walk and modified Timed Up and Go tests in children with cerebral palsy: performance and minimum clinically important differences. *Dev Med Child Neurol.* 2014;56(5):482–9.
41. Thompson P, Beath T, Bell J, Jacobson G, Phair T, Salbach NM, et al. Test-retest reliability of the 10-metre fast walk test and 6-minute walk test in ambulatory school-aged children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2008;50(5):370–6.
42. Žen Jurančič M, Damjan H, Vrečar I, Jemec Štukl, I, Vipavec B, Pibernik M, et al. Učinek vadbe hoje na robotski napravi Lokomat na telesno zmogljivost pri otrocih in mladostnikih s cerebralno paralizo. *Rehabilitacija.* 2019;18(2):26–32.

# UPORABA ELEKTRONSKIH IN RAČUNALNIŠKIH KOMUNIKACIJSKIH PRIPOMOČKOV PRI OTROCIH IN MLADOSTNIKI S KOMPLEKSNIMI KOMUNIKACIJSKIMI POTREBAMI

## THE USE OF ELECTRONIC AND COMPUTER COMMUNICATION DEVICES IN CHILDREN AND YOUTH WITH COMPLEX COMMUNICATION NEEDS

Nuša Slana<sup>1,2</sup>, mag. prof. log. in surdoped., Valerija Marot<sup>1</sup>, spec. klin. log., Nika Jelenc<sup>1,2</sup>, mag. prof. log. in surdoped., Barbara Korošec<sup>1</sup>, spec. klin. log., doc. dr. Katja Groleger Sršen<sup>1,3</sup>, dr. med.

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta

<sup>3</sup>Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

### Povzetek

#### Izhodišča:

O kompleksnih komunikacijskih potrebah govorimo, kadar posameznik z govorom ne more zadovoljiti svojih vsakdanjih komunikacijskih potreb, zato potrebuje primeren komunikacijski pripomoček. Osebe s kompleksnimi komunikacijskimi potrebami predstavljajo diagnostično raznoliko populacijo, pri kateri nas zanima predvsem njihovo funkcijsko stanje. Cilj raziskave je bil ugotoviti, kakšne so značilnosti uporabnikov nadomestne in dopolnilne komunikacije, katere elektronske in računalniške komunikacijske pripomočke predpisujemo ter kako se funkcijsko stanje oseb s cerebralno paralizo povezuje z uporabo komunikacijskih pripomočkov.

#### Metode:

Pregledali smo medicinsko dokumentacijo otrok in mladostnikov s kompleksnimi komunikacijskimi potrebami, ki smo jim v obdobju od leta 2017 do 2021 predpisali ali izposodili elektronski oz. računalniški komunikacijski pripomoček.

### Abstract

#### Introduction:

*The term complex communication needs refers to individuals who cannot meet their everyday communication needs by speech only, and therefore need a suitable communication device. Persons with such complex communication needs represent a diagnostically diverse population, where we are primarily interested in their function. The aim of the study was to determine the characteristics of users of augmentative and alternative communication, which electronic or computer communication devices were prescribed and how the functional state of children and youth with cerebral palsy correlates to the use of communication devices.*

#### Methods:

*We reviewed the medical records of children and youth with complex communication needs who were prescribed or lent an electronic or computer communication device in the period from 2017 to 2021.*

**Rezultati:**

Analiza podatkov je pokazala, da je skupina uporabnikov komunikacijskih pripomočkov raznolika glede na starost, diagnozo in funkcijske zmožnosti. Otroci in mladostniki so bili najpogosteje ocenjeni kot delno zanesljivi prejemniki in pošiljatelji komunikacijskih sporočil. Največkrat smo jim predpisali oz. izposodili enostaven računalniški (tablični) komunikacijski pripomoček z upravljanjem na dotik. Pri osebah s cerebralno paralizo smo potrdili povezanost med sistemoma za razvrščanje glede na grobe gibalne zmožnosti (GMFCS) in glede na funkcijo rok (MACS), medtem ko se njuna povezanost s sistemom za razvrščanje otrok glede na komunikacijske zmožnosti (CFCS) ni izkazala za statistično značilno. Ugotovili smo povezavo med GMFCS, MACS in vidno funkcijo ter izbiro načina upravljanja komunikacijskega pripomočka.

**Zaključek:**

Raziskava ponuja vpogled v značilnosti skupine otrok in mladostnikov s kompleksnimi komunikacijskimi potrebami, ki so uporabniki elektronskih ali računalniških komunikacijskih pripomočkov. Rezultati potrjujejo potrebo po odmiku od klasičnega upoštevanja diagnoz k upoštevanju posameznikovega funkcijskega stanja. Hkrati nam rezultati kažejo na nadaljnje možnosti raziskav o vplivu kognitivnih funkcij na komunikacijsko funkcioniranje in o zahtevnosti uporabe komunikacijskega pripomočka v vsakdanjem življenju.

**Ključne besede:**

cerebralna paraliza; funkcijsko stanje; kompleksne komunikacijske potrebe; komunikacijski pripomočki; nadomestna in dopolnilna komunikacija

**Results:**

*The data analysis showed that the population of users of communication devices is heterogeneous in terms of age, diagnosis and function. In communication they are most often rated as inconsistent senders and/or receivers. Most often they were prescribed or lent simple computer (tablet) communication devices accessed by touch. In children and youth with cerebral palsy, correlation between gross motor function (GMFCS) and manual ability levels (MACS) were confirmed, while their correlation with communication function levels (CFCS) did not prove to be statistically significant. A connection between GMFCS and MACS levels, visual function and the access method of the communication device was observed.*

**Conclusion:**

*This research offers an insight into the characteristics of children and adolescents with complex communication needs who are users of electronic and computer communication devices. The results confirm the need to move away from the classical medical diagnoses towards the individual's function. The study also offers further possibilities for researches about the expected correlation between cognitive and communication functioning, as well as about the complexity of using a communication device in everyday life.*

**Key words:**

*cerebral palsy; functional status; complex communication needs; communication devices; augmentative and alternative communication*

**UVOD**

O kompleksnih komunikacijskih potrebah (v nadaljevanju KKP) govorimo, kadar posameznik z govorom ne more zadovoljiti svojih vsakdanjih komunikacijskih potreb, skladno s starostjo in kulturnim okoljem, v katerem živi. Težave se lahko izražajo na ravni komunikacije, jezika in/ali govora. Na ravni jezika so težave lahko prisotne pri jezikovnem razumevanju in/ali izražanju ter tudi pri branju in/ali pisanju (1). Otroci s KKP izkazujejo pomembno zmanjšane zmožnosti na področju govorno-jezikovne komunikacije, ki so posledica različnih razvojnih motenj (npr. cerebralne paralize, avtizma, kromosomskih nepravilnosti itd.) (2–4), in pogosto potrebujejo vseživljenjsko pomoč in individualno načrtovane prilagoditve (5–7).

Skupina otrok s KKP je izjemno raznolika. V njej so otroci z različnimi diagnozami, ki se kažejo kot različne posamezne motnje ali kombinacije motenj. Posamezniki se razlikujejo glede na starost, zmožnosti gibanja, senzorne motnje (motnje vida, sluha), spoznavne zmožnosti in zmožnosti učenja ter glede na jezikovno razumevanje in izražanje ter komunikacijske zmožnosti (8). KKP predstavljajo pomembno tveganje za otrokov celostni razvoj, še posebej za pomanjkljiv ali upočasnen razvoj komunikacijskih kompetenc, jezikovnih zmožnosti in spoznavnih konceptov. Zaradi teh težav jim poseben izziv predstavlja vključevanje v socialno okolje, usvajanje znanj, pridobivanje formalne izobrazbe in doseganje pričakovane samostojnosti (9). Prav zaradi pomembnosti in obsežnosti vpliva KKP na funkcioniranje otroka in na njegovo okolje (družina, vrtec, šola) poskušamo strokovnjaki že od najzgodnejšega obdobja na različne načine premoščati njihove komunikacijske ovire. Otroci lahko komunikacijo z okoljem

na nadomestni način (4) vzpostavijo s pomočjo nadomestne in dopolnilne komunikacije (v nadaljevanju NDK).

## Nadomestna in dopolnilna komunikacija

NDK podpira komunikacijo oseb s KKP tako, da nadomesti ali dopolni običajen govor oz. pisanje (10). S pomočjo naravnih oblik komunikacije, kot so telesna govorica, geste, kretnje, ter tehnološko enostavnih in zahtevnih komunikacijskih pripomočkov posamezniki razvijajo komunikacijske kompetence. Te razdelimo v štiri, med seboj dinamično integrirane skupine: jezikovne, socialne, operacijske in strateške kompetence (11, 12). Uporabniki NDK jih razvijajo v vsakdanjem, naravnem okolju ob pomoči komunikacijskih partnerjev (13).

Način komuniciranja uporabnikov NDK je treba individualno prilagoditi posameznikovim gibalnim in spoznavnim zmožnostim, senzornim motnjam, motivaciji, socialnim dejavnikom in okolju (12, 15). Pozitivni učinki komuniciranja na nadomesten in dopolnilen način so bili prepoznani pri otrocih v zgodnjem predšolskem razvoju (2, 9, 16), šolskem obdobju (17) in obdobju mladostništva (18). Študije primerov kažejo, da lahko tudi otroci z zelo zmanjšanimi zmožnostmi gibanja in otroci z več motnjami zadovoljujejo svoje komunikacijske potrebe (19), ob čemer je treba pri njih posebej izpostaviti pomen naprednih tehnologij ter vlogo strokovnjakov in komunikacijskih partnerjev, ki takšne možnosti vzpostavljajo in zagotavljajo (13, 20).

## Pripomočki za nadomestno in dopolnilno komunikacijo

Pripomočke za NDK razdelimo v dve osnovni skupini: tehnološko enostavni in tehnološko zahtevni komunikacijski pripomočki. Med enostavne komunikacijske pripomočke umeščamo različne grafične pripomočke (posamezni slikovni simboli, komunikacijske predloge, komunikacijske knjige) in taktilne pripomočke. V skupino tehnološko zahtevnih komunikacijskih pripomočkov spadajo naprave, ki za svoje delovanje potrebujejo vir energije oz. jih je treba polniti, imajo možnost generiranja govora, uporabniki lahko z njihovo pomočjo shranjujejo in posredujejo različna sporočila (21).

Tehnološko zahtevne komunikacijske pripomočke razdelimo na elektronske in računalniške. Elektronski komunikacijski pripomočki so naprave z digitaliziranim govorom, ki omogočajo snemanje, hrambo in posredovanje posnetega govora na eni ali več sporočilnih ravneh. Namenjeni so uporabnikom, ki ne zmorejo samostojno oblikovati novih sporočil, lahko pa prožijo in posredujejo vnaprej posneta sporočila. Računalniški komunikacijski pripomočki so naprave s sintetiziranim govorom, ki s programsko opremo omogočajo komuniciranje na različne načine. Posamezniki lahko uporabljajo vnaprej pripravljena sporočila in/ali jih oblikujejo sami (22). Računalniški komunikacijski pripomočki ob tem ponujajo možnost uporabe različnih spletnih aplikacij in v nekaterih primerih tudi možnost nadzora naprav v okolju (14). V zadnjem času v ospredje prihajajo različne mobilne naprave (telefoni, tablice in prenosniki), na katerih je mogoče uporabljati aplikacije, ki so prilagojene za komuniciranje (23, 24).

Naprave za nadomestno komunikacijo je mogoče upravljati na različne načine, odvisno od otrokovih zmožnosti gibanja in občutenja različnih senzornih modalitet. Komunikacijske pripomočke lahko upravljajo z dotikom, stikali, krmilno palico ali očmi (25). Šibkejšje zmožnosti grobega gibanja in motnje občutenja omejujejo možnosti dostopa do komunikacijskih naprav in proženja sporočil. Na voljo so različne prilagojene tipkovnice, prilagojeni ekrani na dotik z različnimi mrežami, različna stikala (tudi naglavno stikalo) ter kamera za proženje simbolov z očmi (26). Posamezni uporabniki za upravljanje komunikacijske naprave glede na svoje zmožnosti uporabljajo enega ali več pripomočkov (npr. kombinacijo stikal in kamere za oči). Te veščine so zelo zahtevne, zato otroci za uporabo podporne tehnologije potrebujejo dovolj časa in možnosti, da se jo naučijo uporabljati.

Program NDK na Oddelku za (re)habilitacijo otrok teče že dolga leta. V letu 2017 smo za obravnavo otrok, ki potrebujejo NDK, pripravili tudi klinično pot. S pregledom dokumentacije otrok in izpolnjenih dokumentov iz klinične poti smo želeli ugotoviti, kakšne so značilnosti otrok s KKP, ki smo jim med letoma 2017 in 2021 predpisali tehnološko zahtevni komunikacijski pripomoček (elektronski ali računalniški). Zanimalo nas je, kako heterogena je skupina slovenskih uporabnikov tehnološko zahtevnih komunikacijskih pripomočkov glede na starost, medicinsko in logopedsko diagnozo ter kakšno je funkcioniranje njihovih senzornih sistemov. Preveriti smo želeli, kakšna je ocena funkcijskega stanja oseb s KKP na področju gibanja, funkcije roke in komunikacijske učinkovitosti in ali se je ocena otrokovega splošnega komunikacijskega vedenja po zaključeni obravnavi in prejemu pripomočka pomembno izboljšala. Zanimalo nas je tudi, katere tehnološko zahtevne komunikacijske pripomočke in dodatno opremo za upravljanje pripomočka smo predpisali uporabnikom. Da bi lahko vsaj v grobem opredelili otrokove kognitivne zmožnosti, smo želeli analizirati podatke o tem, v katere vzgojno-izobraževalne programe (VIP) so bili vključeni v času predpisa. Zanimalo nas je, kakšne so bile značilnosti otrok in mladostnikov, ki smo jim pripomoček predpisali prvič. Nenazadnje smo želeli preveriti še, kakšna je v skupini otrok s CP morebitna povezanost med funkcijskimi zmožnostmi na področju gibanja, funkcije rok, vida in komunikacije ter izbiro vrste in načina upravljanja komunikacijskega pripomočka.

## METODE

### Preiskovanci

V retrospektivno raziskavo smo zajeli podatke 81 uporabnikov komunikacijskih pripomočkov, starih od 2 leti in 8 mesecev do 24 let in 6 mesecev, pri čemer je povprečna starost znašala 10 let in 6 mesecev (SO 4 leta). Največ uporabnikov je komunikacijske pripomočke prejelo v šolskem obdobju (70). V vzorcu je bilo 52 (64,2 %) uporabnikov moškega spola in 26 (35,8 %) ženskega.

### Postopek zbiranja podatkov

Pregledali smo dokumentacijo otrok in mladostnikov, ki jim je bil v obdobju od leta 2017 do 2021 predpisan ali izposojen elektronski



ali računalniški komunikacijski pripomoček. Zbrali smo podatke o diagnozi, morebitni senzorni motnji in funkcijskem stanju. Za opis grobega gibanja smo uporabili Sistem za razvrščanje otrok s CP glede na zmožnosti grobega gibanja (*angl.* The Gross Motor Function Classification System, GMFCS) (29). Otroke v eno od petih stopenj razvrstimo glede na zmožnosti grobega gibanja in uporabo pripomočkov za gibanje v vsakodnevnem življenju. Za opis funkcije rok smo uporabili Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na funkcijo rok (*angl.* Manual Ability Classification System, MACS) (30). Za opis komunikacijskega funkcioniranja smo uporabili Sistem razvrščanja komunikacijskih funkcij za osebe s cerebralno paralizo (*angl.* Communication Function Classification System, CFCS) (31). Namen CFCS je razvrstiti otroke in mladostnike v eno od petih stopenj glede na komunikacijsko učinkovitost v vsakodnevnih situacijah (31). Stopnje GMFCS in MACS smo pridobili zgolj za otroke in mladostnike s CP. Stopnja CFCS smo določili za vse uporabnike komunikacijskih pripomočkov, saj avtorji sistema omenjajo, da je ta primeren za ocenjevanje posameznikov s KKP tudi, kadar ti nimajo CP. Nato smo poiskali podatke o vrsti pripomočkov, dodatni opremi, ki je bila predpisana oz. izposojena s pripomočkom, ter načinu upravljanja pripomočka. Na koncu smo zbrali še podatke o vrsti vzgojno-izobraževalnega programa, ki ga je otrok oz. mladostnik obiskoval ob predpisu komunikacijskega pripomočka.

## Statistična analiza

Pri analizi podatkov smo uporabili programa Excel in SPSS 27. Za podatke smo izračunali opisno statistiko. Dodatno smo uporabili neparametrični Mann Whitneyjev test za nenormalno porazdelitev podatkov, hi-kvadrat test hipoteze neodvisnosti za stopnjo tveganja  $P=0,05$ , Fisherjev eksaktni test, Kendallov koeficient korelacije ter Spearmanov koeficient korelacije.

## REZULTATI

V obdobju od januarja 2017 do decembra 2021 smo opravili skupno 81 predpisovanj komunikacijskih pripomočkov, od tega smo 55 uporabnikom elektronski oz. računalniški pripomoček predpisali prvič. V tem obdobju smo štirim uporabnikom zaradi spremembe funkcijskega stanja ali iztrošenosti prvotne naprave predpisali dva pripomočka. Pri 40 uporabnikih (49,4 %) je bil glavni razlog za predpisovanje ta, da grafični pripomoček ni več zadoščal potrebam uporabnika, 23 uporabnikom (28,4 %) smo zamenjali zastarelo in/ali iztrošeno napravo, pri 14 uporabnikih (17,3 %) so bile funkcijske zmožnosti primerne za nadaljnje učenje komunikacijskih kompetenc in jezika, pri štirih (4,9 %) pa spremenjeno funkcijsko stanje ni več omogočalo dotedanega načina komunikacije. Od predpisa do prevzema pripomočka so uporabniki čakali od 29 do 334 dni, v povprečju 96 dni (SO 48 dni).

Etiološke diagnoze uporabnikov NDK smo razdelili v devet kategorij (Tabela 1). Pri tem velja spomniti, da cerebralna paraliza ni etiološka diagnoza, saj je okvara možganov posledica vrste dejavnikov, od hipoksije in krvavitve v možgane do prenatalne okužbe ali poškodbe zelo zgodaj v razvoju. Ker so ti otroci ven-

darle nato vodeni pod enotno diagnozo, smo jih tokrat združili v eno skupino, pri ostalih otrocih pa upoštevali potrjeno etiološko diagnozo. Uporabnikov, ki so imeli postavljeni dve funkcijski diagnozi s področja komunikacije, je bilo 10, medtem ko je imel en uporabnik zapisane tri funkcijske diagnoze. Pri slednjih sta se najpogosteje pojavljali kombinacija ekspresivne jezikovne motnje in otroške govorne apraksije ter kombinacija ekspresivne jezikovne motnje in dizatrije.

Funcijsko stanje uporabnikov (GMFCS, MACS in CFCS) je prikazano v Tabeli 2. Večina uporabnikov je bila razvrščena v IV. ali V. stopnjo GMFCS oz. MACS, kar pomeni, da so morda zmogli vstajanje in stopanje ob opori in vodenju odrasle osebe oz. izvedbo kakšne zelo preproste aktivnosti z rokami ali pa še tega ne. Motnjo vida je imelo 19 uporabnikov (23,5 %), motnjo sluha pa devet (11,1 %). Povezanost med motnjo vida in vrsto predpisanega pripomočka je bila statistično značilna (Fisherjev eksaktni test,  $p<0,001$ ), kar pa ne velja za povezanost med funkcijo sluha in vrsto predpisanega pripomočka ( $p=0,069$ ). Elektronske komunikacijske pripomočke so prejeli zgolj uporabniki s slabšo funkcijo vida.

Stopnja CFCS se po zaključeni obravnavi in predaji komunikacijskega pripomočka pri sedmih uporabnikih (8,6 %) ni spremenila. Pri 70 uporabnikih (86,4 %) se je izboljšala za eno stopnjo, torej se je njihovo komunikacijsko funkcioniranje izboljšalo. Pri štirih uporabnikih (4,9 %) se je funkcija izboljšala celo za dve stopnji. Izboljšanje stopnje CFCS po prevzemu pripomočka za NDK je bilo statistično visoko značilno ( $p<0,001$ ).

Med pripomočki je bilo predpisanih največ naprav Tobii Indi (28), ki sodijo v kategorijo enostavnih računalniških tabličnih pripomočkov; sledila sta modela Tobii I-110 (enostavni računalniški pripomoček) in Tobii I-15 (zahtevni računalniški) (Tabela 3). Skoraj polovica uporabnikov (48,1 %) za uporabo komunikacijskega pripomočka ni potrebovala dodatne opreme. Najpogosteje predpisana dodatna oprema sta bila nosilec za voziček (25,9 %) in mreža za zaslon (11,1 %). Uporabniki so komunikacijske pripomočke upravljali na različne načine, najpogosteje z dotikom (Tabela 4). Enostavni elektronski komunikacijski pripomočki so pri tem izvzeti, saj so ti že sami po sebi v obliki stikal, torej je njihov edini način uporabe proženje stikala.

Dodatno smo v vzorcu pregledali podatke o prvih predpisovanih elektronskih in računalniških pripomočkov v obravnavanem obdobju. Povprečna starost ob prvem predpisu je znašala 8 let in 9 mesecev (SO 3 leta in 5 mesecev). Podatki kažejo, da smo se za prvi predpis enostavnega računalniškega pripomočka, med katere smo uvrstili tudi tablični pripomoček, statistično značilno najpogosteje odločili zato, ker grafični pripomoček uporabnikov ni več zadoščal njihovim potrebam ( $p=0,007$ ). Kadar uporabniki, ki smo jim predpisali elektronski ali računalniški pripomoček, predhodno niso uporabljali grafičnega pripomočka, smo se za predpis največkrat odločili zaradi primernih funkcijskih zmožnosti, ki so omogočale nadaljnje učenje komunikacijskih kompetenc in jezika. V tem primeru je bil statistično značilno najpogosteje predpisan elektronski komunikacijski pripomoček ( $p<0,001$ ).

**Tabela 1:** Diagnoze otrok in mladostnikov ob predpisu komunikacijskega pripomočka.**Table 1:** Diagnoses of children and youth at time of prescription of communication device.

Etiološka diagnoza/Ethiology diagnoses	N	f (%)	Funkcijska diagnoza na področju komunikacije/ Functional communication diagnoses	N	f (%)
Cerebralna paraliza/Cerebral palsy	36	28,3	Dizartrija/Dysarthria	55	59,8
Prirojene deformacije in kromosomske nenormalnosti/Congenital malformations and chromosomopathies	29	22,8	Ekspresivna jezikovna motnja/ Expressive language disorder	17	18,5
Razvojni zaostanek ali razvojna motnja/ Developmental delay or impairment	28	22,0	Otroška govorna apraksija/ Childhood apraxia of speech	12	13,0
Epilepsija/Epilepsy	10	7,9	Specifična motnja pri artikulaciji govora/ Specific articulation disorder	3	3,3
Bolezni živčevja (hidrocefalus, mitohondrijska miopatija, hipoplazija korpus kalozuma)/ Diseases of the nervous system (hydrocephalus, mitochondrial myopathy, corpus callosum hypoplasia)	8	6,3	Afazija/Aphasia	3	3,3
Motnja v duševnem razvoju/ Mental development impairment	8	6,3	Razvojna motnja pri govorjenju in jezikovnem izražanju, neopredeljena/ Developmental speech and language disorder, not specified	2	2,3
Motnja avtističnega spektra/ Autism spectrum disorder	4	3,1			
Spinalna mišična atrofija/ Spinal muscular atrophy	2	1,6			
Stanje po zaprtju palatoshive/ Palatoshisis after closure	2	1,6			
<b>Skupaj/Sum</b>	<b>127</b>	<b>100</b>	<b>Skupaj/Sum</b>	<b>92</b>	<b>100,0</b>

**Legenda/Legend:** N – število/number; f – delež/proportion

**Tabela 2:** Funkcijska stanja.**Table 2:** Functional classifications.

Lestvica (stopnja)/ Scale (level)	CEREBRALNA PARALIZA				DRUGE DIAGNOZE	
	GMFCS N (f %)	MACS N (f %)	CFCS brez (without) KP N (f %)	CFCS s (with) KP N (f %)	CFCS brez (without) KP N (f %)	CFCS s (with) KP N (f %)
I	2 (5,6 %)	2 (5,6 %)	0	1 (2,8 %)	0	2 (4,4 %)
II	1 (2,8 %)	4 (11,1 %)	1 (2,8 %)	14 (38,9 %)	0	13 (28,9 %)
III	13 (36,1 %)	12 (33,3 %)	14 (38,9 %)	13 (36,1 %)	16 (35,6 %)	28 (62,2 %)
IV	20 (55,6 %)	18 (50,0 %)	17 (47,2 %)	8 (22,2 %)	27 (60,0 %)	2 (4,4 %)
V	2 (5,6 %)	2 (5,6 %)	4 (11,1 %)	0	2 (4,4 %)	0
<b>N</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>45</b>	<b>45</b>
Modus	Stopnja V	Stopnja V	Stopnja IV	Stopnja II	Stopnja IV	Stopnja III

**Legenda/Legend:** GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s CP glede na zmožnosti grobega gibanja/The Gross Motor Function Classification System; MACS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na funkcijo rok/Manual Ability Classification System; CFCS – Sistem razvrščanja komunikacijskih funkcij za osebe s cerebralno paralizo/Communication Function Classification System; KP – komunikacijski pripomoček/communication device; N – število/number; f – delež/proportion

**Tabela 3:** Vrste komunikacijskih pripomočkov.**Table 3:** Types of alternative and augmentative communication device.

Vrsta pripomočka/Type of device	N	f %
Enostavni računalniški tablični/Simple computer tablet (Tobii Indi)	28	34,6
Enostavni računalniški/Simple computer (Tobii I-110, Accent 1000, Accent 1000-30)	21	25,9
Zahtevni računalniški/Complex computer (Tobii I-12, I-13, I-15, I-16, Accent 1400)	16	19,8
Zahtevni računalniški z dodatno funkcijo/Complex computer with additional functions (Tobii I-12, I-13, I-15, I-16, Accent 1400; vsi z upravljanjem na stikala/all with switch access method)	9	11,1
Enostavni elektronski/Simple electronic (AbleNet stikala/switches)	6	7,4
Zahtevni elektronski/Complex electronic (Express 32 Go Talk)	1	1,2
<b>Skupaj/Sum</b>	<b>81</b>	<b>100,0</b>

Legenda/Legend: N – število/number; f – delež/proportion

**Tabela 4:** Načini upravljanja komunikacijskih pripomočkov.**Table 4:** Device access methods.

Način upravljanja/Access methods	N	f %
Dotik/Touch	49	60,5
Upravljanje z očmi/Eye gaze	15	18,5
Dve stikali/Two switches	5	6,2
Krmilna palica/Joystick	3	3,7
Eno stikalo/One switch	1	1,2
Tri stikala/Three switches	1	1,2
Krmilna palica + stikalo/Joystick + switch	1	1,2
<b>Skupaj/Sum</b>	<b>75</b>	<b>92,6</b>

Legenda/Legend: N – število/number; f – delež/proportion

Prva predpisovanja smo podrobneje analizirali tudi glede na starostno obdobje (predšolsko in šolsko obdobje). V predšolskem obdobju (od 3. leta do vstopa v šolo) smo opravili 14 prvih predpisovanj: štiri enostavne elektronske pripomočke, štiri enostavne računalniške in štiri enostavne računalniške tablične pripomočke ter po en predpis zahtevnega elektronskega in zahtevnega računalniškega pripomočka. Z izjemo enega primera, kjer je uporabnik predpisani komunikacijski pripomoček upravljal z očmi, so preostali računalniške pripomočke upravljali z dotikom. Polovica otrok je obiskovala redni vrtec z dodatno strokovno pomočjo in/ali spremljevalcem, nekaj otrok razvojni oddelek vrtca, en otrok pa je bil vključen v posebni program vzgoje in izobraževanja (PPVI). V predšolskem obdobju smo komunikacijske pripomočke najpogosteje predpisali otrokom s CP (6) in prirojenimi malformacijami, deformacijami ter kromosomskimi nepravilnostmi (4). Najpogosteje so bili to otroci z diagnozo dizartrija (6), ekspresivno jezikovna motnja (4) in otroško govorna apraksija (4). V štirih primerih otrok pred predpisom ni uporabljal drugih oblik NDK, zato smo razvoj kompetenc za uporabo NDK začeli sočasno s predpisom enostavnega elektronskega pripomočka.

**Tabela 5:** Vzgojno-izobraževalni program ob predpisu komunikacijskega pripomočka.**Table 5:** Educational program at time of prescription of communication device.

Vzgojno-izobraževalni program ob predpisu/ Educational program	N	f %
Redni vrtec z DSP oz. spremljevalcem/Regular kindergarten with assistance	8	9,9
Razvojni vrtec/Developmental kindergarten	5	6,2
Redna OŠ s prilagojenim izvajanjem in DSP/Regular elementary school	4	4,9
Prilagojeni izobraževalni program z EIS/Adapted educational program with EES	6	7,4
Prilagojeni izobraževalni program z NIS/Adapted educational program with LES	12	14,8
PPVI	43	53,1
Domače varstvo/Home care	3	3,7
<b>Skupaj/Sum</b>	<b>81</b>	<b>100,0</b>

Legenda/Legend: N – število/number; f – delež/proportion; DSP – dodatna strokovna pomoč/individual help; OŠ – osnovna šola/primary school; EIS/EES – enakovredni izobrazbeni standard/equivalent educational standard; NIS/LES – nižji izobrazbeni standard/lower educational standard; PPVI – posebni program vzgoje in izobraževanja/special education program

Prvih predpisov v šolskem obdobju je bilo več kot v predšolskem (39), od tega devet enostavnih računalniških pripomočkov, 20 enostavnih računalniških tabličnih, sedem zahtevnih računalniških in trije zahtevni z dodatno funkcionalnostjo. Osemindvajset uporabnikov je napravo upravljalo na dotik, sedem z očmi, dva s stikali in dva s krmilno palico. Več kot polovica uporabnikov (25) je obiskovala PPVI, sedem prilagojeni izobraževalni program z nižjim izobrazbenim standardom, štirje program z enakovrednim izobrazbenim standardom in trije redno osnovno šolo s prilagojenim izvajanjem in dodatno strokovno pomočjo. Tudi v tem starostnem obdobju so bile najpogostejše diagnoze prirojene malformacije, deformacije in kromosomske nenormalnosti (16) ter cerebralna paraliza (15) oziroma dizartrija (27), ekspresivna

jezikovna motnja (6) in otroška govorna apraksija (6). Skupina otrok in mladostnikov, ki smo jim komunikacijski pripomoček prvič predpisali v predšolskem obdobju, se tako glede etiološke in logopedске diagnoze ni pomembno razlikovala od otrok in mladostnikov, ki jim je bil komunikacijski pripomoček prvič predpisan v šolskem obdobju. Se je pa kot statistično pomembna izkazala povezanost med obdobjem prvega predpisa ter vrsto pripomočka ( $\tau_b=0,345$ ,  $p=0,007$ ), saj so zgolj otroci iz predšolskega obdobja prejeli enostavne in zahtevne elektronske pripomočke, medtem ko smo se v šolskem obdobju odločali zgolj za računalniške komunikacijske pripomočke.

Podrobneje smo analizirali tudi populacijo uporabnikov NDK s CP. Izračunali smo korelacije med posameznimi lestvicami za oceno funkcijskega stanja ter med spremenljivkami funkcijsko stanje oz. stanje vida in vrsto oz. načinom upravljanja komunikacijskega pripomočka (Tabeli 6 in 7).

**Tabela 6:** Spearmanov koeficient korelacije med sistemi za oceno funkcijskega stanja.

**Table 6:** Spearman correlation coefficient between functional classification system.

	GMFCS rs; p	MACS rs; p	CFCS brez (without) KP rs; p
GMFCS	/	0,753;<0,001	0,247;0,147
MACS	0,753;<0,001	/	0,310;0,066
CFCS brez (without) KP	0,247;0,147	0,310;0,066	/

**Legenda/Legend:** GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s CP glede na zmožnosti grobega gibanja/The Gross Motor Function Classification System; MACS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na funkcijo rok/Manual Ability Classification System; CFCS – Sistem razvrščanja komunikacijskih funkcij za osebe s cerebralno paralizo/Communication Function Classification System; KP – komunikacijski pripomoček/communication device; N – število/number; f – delež/proportion

## RAZPRAVA

V raziskavi nas je zanimalo predvsem, kakšne so značilnosti slovenskih uporabnikov tehnološko zahtevnih komunikacijskih pripomočkov glede na starost, etiološko in funkcijsko diagnozo na področju komunikacije ter kakšno je funkcioniranje njihovih senzornih sistemov. Ugotovili smo, da je skupina uporabnikov komunikacijskih pripomočkov zelo raznolika, tako po etiološki diagnozi kot tudi funkcijskem stanju, kar je skladno z ugotovitvami drugih avtorjev (2, 27). Njihova skupna značilnost je, da imajo na področju komunikacije težave, saj je večina uporabnikov komunikacijskih pripomočkov le občasno zanesljiva pri sprejemanju in podajanju informacij, kar velja tudi v primeru, ko komunicirajo z znanimi komunikacijskimi partnerji (CFCS stopnja IV).

Pričakovano se je izkazalo, da imajo uporabniki, ki uporabljajo stikala, pogosteje motnje vida. Ob slabši funkciji vida je namreč pregledovanje in vidno skeniranje simbolov močno oteženo, upravljanje komunikacijskega pripomočka na dotik ali z očmi pa ni možno. Uporabniki z motnjami vida komunikacijske pripomočke upravljajo s stikali, ki jim omogočajo zaporedno premikanje med simboli in slušno napoved vsebine, preden jo s stikalom potrdijo. Povprečna starost ob prvem predpisovanju je znašala 8 let in 9 mesecev, pri čemer je standardni odklon znašal kar 3 leta in 6 mesecev. Ugotovili smo, da smo se za prva predpisovanja elektronskih in računalniških pripomočkov odločili dokaj pozno, šele v šolskem obdobju, ko se je proces opismenjevanja že intenzivno odvijal. Deloma je k temu prispeval prejšnji način predpisovanja pripomočkov po pravilih Zavoda za zdravstveno zavarovanje Slovenije (ZZZS), ki je omogočal predpisovanje le na vsaka štiri leta. Zaradi tega smo se za predpisovanje pogosto odločili šele na prehodu otroka v šolsko obdobje, ko je imel komunikacijske kompetence že razvite do te mere, da je lahko uporabljal simbolno komunikacijo (uporaba simbolov ter pisanje) na visokotehnološki napravi. Če bi ga otroku v teh pravnih okvirih predpisovali npr. v starosti štirih let, bi bil pripomoček dve leti kasneje, ob vstopu v šolski program, lahko že neustrezen, pravice do predpisa novega, ustreznega pa otrok ne bi imel še dve leti.

Ob spremembi načina pridobitve komunikacijskega pripomočka v letu 2019 naprava ni več uporabnikova trajna last, temveč mu jo izposodimo v uporabo, zato se lahko za predajo pripomočka odločimo že prej, v obdobju zgodnjega jezikovnega razvoja.

**Tabela 7:** Kendallov koeficient korelacije med funkcijskimi stanji in komunikacijskimi pripomočki.

**Table 7:** Kendall correlation coefficient between function and communication device.

	GMFCS $\tau_b$ ; p	MACS $\tau_b$ ; p	CFCS brez (without) KP $\tau_b$ ; p	CFCS s (with) KP $\tau_b$ ; p	Motnja vida/Visual impairment $\tau_b$ ; p
Vrsta pripomočka/ Device type	0,038;0,798	0,206; 0,156	0,088;0,547	0,117; 0,417	<b>0,228; 0,025</b>
Način upravljanja/ Access method	<b>0,374; 0,012</b>	<b>0,415; 0,004</b>	0,160;0,274	0,245; 0,089	<b>0,307; 0,003</b>

**Legenda/Legend:** GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s CP glede na zmožnosti grobega gibanja/The Gross Motor Function Classification System; MACS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na funkcijo rok/Manual Ability Classification System; CFCS – Sistem razvrščanja komunikacijskih funkcij za osebe s cerebralno paralizo/Communication Function Classification System; KP – komunikacijski pripomoček/communication device; N – število/number; f – delež/proportion



Ob napredovanju otrokovih zmožnosti lahko ob ustreznem času napravo zamenjamo za zahtevnejšo in naprednejšo. Tudi novejša smernice tujih avtorjev namreč govorijo v prid zgodnejšemu predpisovanju elektronskih pripomočkov (24, 28), saj imajo, sodeč po raziskavah, že predšolski otroci s KKP težave v zgodnjem semantičnem razvoju. Pri njegovem razvijanju so lahko v pomoč visokotehnoške naprave s prilagojenimi programi, ki podpirajo zgodnje, kontekstualno učenje jezika ter spodbujajo komunikacijsko funkcijo. A raziskovalci hkrati opozarjajo, da morajo biti uporabljene naprave in programi v tem zgodnjem obdobju dovolj preprosti in hitri, da jih lahko komunikacijski partnerji brez večjega napora uporabijo v času neposredne komunikacije z otrokom (28).

Pregled dokumentacije otrok in mladostnikov je osvetlil problematiko pomanjkljivega postavljanja diagnoz na področju govorno-jezikovne komunikacije ter njihove neenotne uporabe in poimenovanja. Ob pregledu dokumentacije smo ugotovili, da je bilo uporabljenih 36 različnih opisov diagnoz, pri čemer so bile uporabljene tako diagnoze, skladne z MKB-10 (29), kot diagnoze po kriterijih za opredelitev motenj Zavoda RS za šolstvo (30) ter diagnoze, ki ne sodijo v nobeno izmed klasifikacij. Za potrebe obdelave podatkov smo manjkajoče diagnoze dopolnili in uporabljene diagnoze skladno s klasifikacijo MKB-10 razvrstili v šest kategorij (Tabela 1). Podobno problematiko nedosledne uporabe diagnoz smo opazili tudi na področju diagnoz o kognitivnih funkcijskih zmožnostih – (celostni) razvojni zaostanek, razvojna motnja in motnja v duševnem razvoju. Opazili smo, da so bili uporabniki tudi kasneje v šolskem obdobju najpogosteje vodeni pod diagnozo celostni razvojni zaostanek, čeprav je večina otrok pred vstopom v šolo opravila psihološko oceno in pridobila diagnozo motnja v duševnem razvoju (ki je glede na stopnjo lahko bila lahka, zmerna, težja ali težka), a ta ni bila zabeležena v dokumentaciji otrok in mladostnikov v programu NDK. V praksi se običajno srečujemo s tem, da starši na otrokov pregled ali ob vstopu v program rehabilitacije ne prinesejo izvida psihološke ocene, če je bila ta opravljena v drugi ustanovi.

Ugotovili smo, da se je komunikacijsko funkcioniranje uporabnikov po prejemu pripomočka in razvijanju kompetenc za njegovo uporabo izboljšalo, saj se je stopnja CFCS statistično pomembno znižala ( $p < 0,001$ ). To pomeni, da je posameznik postal učinkovitejši prejemnik in tvorec sporočil z znanimi in neznanimi komunikacijskimi partnerji. Pri več kot polovici uporabnikov se je funkcija izboljšala za eno stopnjo, pri štirih uporabnikih pa za dve stopnji. Med skupino uporabnikov, pri katerih se je stopnja izboljšala za eno stopnjo, in skupino, pri katerih se je izboljšala za dve stopnji, nismo našli statistično pomembnega vpliva diagnoze, vrste pripomočka in vzgojno-izobraževalnega programa, zato predvidevamo, da na izboljšanje funkcije poleg komunikacijskega pripomočka vpliva tudi kombinacija številnih notranjih in zunanjih dejavnikov, kot so npr. uporabnikove kognitivne zmožnosti, njegove komunikacijske potrebe, lastna motivacija ter motivacija in spodbudnost okolja.

Ob podrobnejšem pregledu skupine uporabnikov s cerebralno paralizo smo ugotovili visoko povezanost med lestvicama GMFCS in MACS (Tabela 6;  $r_s = 0,753$ ,  $p < 0,001$ ), kar se ujema z ugotovit-

vami tujih avtorjev (31–33). Nasprotno je naša raziskava pokazala nizko povezanost lestvice CFCS z GMFCS oz. MACS, medtem ko preostale raziskave ugotavljajo srednje visoko povezanost tudi med omenjenimi lestvicami, saj so imeli učinkoviti pošiljatelji in prejemniki sporočil boljše grobe zmožnosti gibanja in funkcijo rok (31, 32). Ena od raziskav je dodatno potrdila tudi visoko povezanost med temi tremi sistemi razvrščanja otrok s CP in kognitivnim funkcioniranjem (33).

Ugotovili smo, da je povezanost med stopnjo GMFCS oz. stopnjo MACS in načinom upravljanja pripomočka za NDK statistično značilna (Tabela 7). Rezultati so pričakovani, saj se tudi v praksi pri izbiri vrste pripomočka in načina upravljanja odločamo predvsem glede na funkcijsko stanje gibanja in občutenja oz. zaznavanja dražljajev. Pri osebah z višjo stopnjo GMFCS in MACS so zmožnosti gibanja, uporabe pripomočkov in zmožnosti funkcije rok manjše, zato upravljanje komunikacijske naprave na dotik najpogosteje ni možno. Takrat je treba za uporabnika izbrati način upravljanja, ki je prilagojen njegovim zmožnostim gibanja, to je npr. upravljanje z očmi, uporabo stikal ali krmilno palico, ki je nameščena na voziček na elektromotorni pogon. Izkazalo se je, da je motnja vida pomembno povezana tako z vrsto predpisanega pripomočka kot z načinom njegovega upravljanja. Kot je že bilo omenjeno, osebe z motnjo vida komunikacijske pripomočke upravljajo predvsem s stikali. Kadar je okvara vida tako huda, da vidno pregledovanje ni možno, je lahko predpisan pripomoček manjše velikosti (enostavni elektronski ali računalniški), saj se uporabniki pripomočka zanašajo predvsem oz. izključno na slušno pot. Kadar ostanek vida še omogoča prepoznavanje individualno prilagojenih simbolov, se jih lahko podpre s kombinacijo slušne in vidne poti, kar pomeni predpis računalniškega pripomočka z večjim zaslonom za lažje pregledovanje, ki ga običajno spremlja slušna napoved (zahtevni računalniški). Ob tem velja dodati, da ob vključitvi v program NDK otroci in mladostniki skoraj praviloma nimajo opravljene natančne ocene vida, predvsem pa ne funkcijske ocene vida. Taka ocena vida bi nam v postopku ocene in predpisa pripomočka NDK pomagala pri bolj učinkovitem presejanju otrok ter pri odločanju o začetnih korakih postopka ocene in predpisa. Pri uporabnikih s slabšo zmožnostjo gibanja je v klinični praksi za določanje načina upravljanja ter prilagoditev pri nameščanju pomembno tudi sodelovanje z delovnim terapevtom, še posebej kadar uporabniki komunikacijske pripomočke upravljajo s stikali. Timsko delo, v katerega so vključeni različni profili, je tako ključnega pomena za uspešen proces ocenjevanja, izbire primerne komunikacijskega pripomočka ter učenja uporabe pripomočka. Za razliko od lestvic za razvrščanje uporabnikov glede na grobe zmožnosti gibanja in funkcije rok se povezanost med stopnjo CFCS, ki ocenjuje komunikacijsko funkcioniranje, in vrsto pripomočka oz. načinom upravljanja pričakovano ni izkazala za statistično značilno. Menimo, da je to pravzaprav razumljivo, saj je funkcija komunikacije bolj kompleksna. Medtem ko nas podatki o funkcioniranju na področju gibanja in občutenja dražljajev vodijo pri izbiri načina upravljanja komunikacijskega pripomočka, nas podatek o komunikacijskem funkcioniranju usmerja pri načrtovanju vsebin, ki jih individualno pripravimo za vsakega posameznika.

Opravljen raziskava ima svoje omejitve. Pomanjkljivi so bili predvsem podatki o kognitivnem funkcioniranju, zato povezanost kognitivnega funkcioniranja s preostalimi funkcijskimi zmožnostmi ter z značilnostmi komunikacijskih pripomočkov ostaja neznana. V prihodnje bi bilo zato smiselno raziskati, kako se komunikacijsko funkcioniranje, ocenjeno z lestvico CFCS, povezuje s kognitivnimi sposobnostmi ter kako te vplivajo na izbiro vsebin za uporabo na komunikacijskem pripomočku. Prav tako bi bilo takšno raziskavo z leti smiselno ponoviti, ko bo vzorec uporabnikov, ki jim je bil komunikacijskih pripomoček predan v uporabo po novem sistemu izposoje, večji.

## ZAKLJUČEK

Opravljen raziskava ponuja prvi tovrsten vpogled v področje uporabe elektronskih in računalniških komunikacijskih pripomočkov pri otrocih in mladostnikih s kompleksnimi komunikacijskimi potrebami. Ugotavljamo, da so uporabniki komunikacijskih pripomočkov zelo heterogena populacija tako glede na starost kot glede na postavljeno medicinsko diagnozo, zato je pri osebah s KKP smiselno govoriti o njihovem funkcijskem stanju. Največkrat smo uporabnikom NDK predpisali enostaven računalniški in enostaven računalniški tablični pripomoček, ki ga je več kot polovica uporabnikov upravljala na dotik. Izkazalo se je, da je več kot polovica uporabnikov komunikacijskih pripomočkov obiskovala posebni program vzgoje in izobraževanja, kar kaže, da KKP pomembno otežujejo usvajanje znanj in opismenjevanje. Na izbiro upravljanja komunikacijskega pripomočka pri otrocih in mladostnikih s CP vplivajo GMFCS, MACS in vidna funkcija posameznika.

## Literatura:

- Porter G, Kirkland J. Integrating augmentative and alternative communication into group programs: utilising the principles of conductive education. Victoria: Spastic Society of Victoria; 1995.
- Romski M, Sevcik RA, Barton-Hulsey A, Whitmore AS. Early Intervention and AAC: what a difference 30 years makes. *Augment Altern Commun.* 2015;31(3):181–202.
- Chew KL, Iacono T, Tracy J. Overcoming communication barriers. *Aust Fam Physician.* 2009;38(1):10–4.
- Light J, Drager K. AAC technologies for young children with complex communication needs: state of the science and future research directions. *Augment Altern Commun.* 2007;23(3):204–16.
- Lollar DJ, Simeonsson RJ. Diagnosis to Function. *J Dev Behav Pediatr.* 2005;26(4):323–30.
- Kodrič J. Psihološko ocenjevanje otrok z motnjo v duševnem razvoju. V: Jurišić BD, Šelih A, ur. 3. posvet na temo Usmerjanje otrok z Downovim sindromom in drugih otrok z motnjo v duševnem razvoju. Ljubljana: Sožitje, Sekcija za Downov sindrom; 2010:7–20.
- Handleman JS. Severe developmental disabilities: defining the term. *Educ Treat Child.* 1986;9(2):153–67.
- Costantino MA, Bonati M. A Scoping review of interventions to supplement spoken communication for children with limited speech or language skills. *PLoS One.* 2014;9(3):e90744.
- Drager K, Light J, McNaughton D. Effects of AAC interventions on communication and language for young children with complex communication needs. *J Pediatr Rehabil Med.* 2010;3(4):303–10.
- Ganz JB, Simpson RL. Effects on communicative requesting and speech development of the picture exchange communication system in children with characteristics of autism. *J Autism Dev Disord.* 2004;34(4):395–409.
- Light J, McNaughton D. Communicative competence for individuals who require augmentative and alternative communication: a new definition for a new era of communication? *Augment Altern Commun.* 2014;30(1):1–18.
- Andzik NR, Schaefer JM, Nichols RT, Chung Y-C. National survey describing and quantifying students with communication needs. *Dev Neurorehabil.* 2018;21(1):40–7.
- Sennott SC, Light JC, McNaughton D. AAC modeling intervention research review. *Res Pract Persons Severe Disabil.* 2016;41(2):101–15.
- Light J, McNaughton D, Beukelman D, Fager SK, Fried-Oken M, Jakobs T, et al. Challenges and opportunities in augmentative and alternative communication: research and technology development to enhance communication and participation for individuals with complex communication needs. *Augment Altern Commun.* 2019;35(1):1–12.
- Hamm B, Miranda P. Post-school quality of life for individuals with developmental disabilities who use AAC. *Augment Altern Commun.* 2006;22(2):134–47.
- Romski M, Sevcik RA, Adamson LB, Cheslock M, Smith A, Barker RM, et al. Randomized comparison of augmented and nonaugmented language interventions for toddlers with developmental delays and their parents. *J Speech Lang Hear Res.* 2010;53(2):350–64.
- Miranda P, Bop KD. "Playing the game": strategic competence in AAC. In: Light JC, Beukelman DR, Reichle J, eds. *Communicative competence for individuals who use AAC.* Baltimore: Brookes Publishing; 2003:401–40.
- McNaughton D, Bryen DN. AAC technologies to enhance participation and access to meaningful societal roles for adolescents and adults with developmental disabilities who require AAC. *Augment Altern Commun.* 2007;23(3):217–29.
- Smith AL, Hustad KC. AAC and early intervention for children with cerebral palsy: parent perceptions and child risk factors. *Augment Altern Commun.* 2015;31(4):336–50.
- Ibrahim SB, Vasalou A, Clarke M. Design opportunities for AAC and children with severe speech and physical impairments. In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on human factors in computing systems, April 21–26, 2018.* New York: ACM; 2018:1–13.
- AAC Devices. Dostopno na: <http://www.augcominc.com/whatsnew/ncs2.html> (citirano 2. 3. 2022).
- Types of AAC devices. Dostopno na: <http://www.augcominc.com/whatsnew/ncs5.html> (citirano 2. 3. 2022).
- Caron J, Light J, Davidoff BE, Drager KDR. Comparison of the effects of mobile technology AAC apps on programming visual scene displays. *Augment Altern Commun.* 2017;33(4):239–48.
- Huist AE, McCarthy JW, Boster JB, Benigno JP. Using video to teach early language concepts and symbols to children with complex communication needs. *Commun Disord Q.* 2020;41(2):110–22.

25. Elsahar Y, Hu S, Bouazza-Marouf K, Kerr D, Mansor A. Augmentative and Alternative Communication (AAC) advances: review of configurations for individuals with a speech disability. *Sensors*. 2019;19(8):1911.
26. Beukelman DR, Mirenda P. Augmentative and alternative communication: supporting children and adults with complex communication needs. 4th ed. Baltimore: P. H. Brookes; 2013.
27. Rowland C, Fried-Oken M, Steiner SAM, Lollar D, Phelps R, Simeonsson RJ, et al. Developing the ICF-CY for AAC profile and code set for children who rely on AAC. *Augment Altern Commun*. 2012;28(1):21–32.
28. Koch Fager S, Fried-Oken M, Jakobs T, Beukelman DR. New and emerging access technologies for adults with complex communication needs and severe motor impairments: state of the science. *Augment Altern Commun*. 2019;35(1):13–25.
29. Mednarodna klasifikacija bolezni in sorodnih zdravstvenih problemov za statistične namene: MKB -10-AM: avstralska modifikacija. Verzija 6. Dostopno na: [https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/podatki/klasifikacije\\_sifranti/mkb/mkb10-am-v6\\_v04\\_splet-04112020.pdf](https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/podatki/klasifikacije_sifranti/mkb/mkb10-am-v6_v04_splet-04112020.pdf) (citirano 3. 3. 2022).
30. Kriteriji za opredelitev vrste in stopnje primanjkljajev, ovir oz. motenj otrok s posebnimi potrebami. Dostopno na: <https://www.zrss.si/pdf/Kriteriji-motenj-otrok-s-posebnimi-potrebami.pdf> (citirano 3. 3. 2022).
31. Mutlu A, Pistav-Akmese P, Yardımcı BN, Ogretmen T. What do the relationships between functional classification systems of children with cerebral palsy tell us? *J Phys Ther Sci*. 2017;28(12):3493–8.
32. Mutlu A, Kara ÖK, Livanelioğlu A, Karahan S, Alkan H, Yardımcı BN, et al. Agreement between parents and clinicians on the communication function levels and relationship of classification systems of children with cerebral palsy. *Disabil Health J*. 2018;11(2):281–6.
33. Compagnone E, Maniglio J, Camposeo S, Vespino T, Losito L, De Rinaldis M, et al. Functional classifications for cerebral palsy: correlations between the gross motor function classification system (GMFCS), the manual ability classification system (MACS) and the communication function classification system (CFCS). *Res Dev Disabil*. 2014;35(11):2651–7.

# UPORABA TEHNOLOGIJE PRI OBRAVNAVI KRONIČNE NERAKAVE BOLEČINE OTROK IN MLADOSTNIKOV

## USE OF TECHNOLOGY IN THE TREATMENT OF CHRONIC NON-MALIGNANT PAIN IN CHILDREN AND ADOLESCENTS

dr. Barbara Horvat Rauter<sup>1</sup>, univ. dipl. psih., mag. Svetlana Logar<sup>1</sup>, univ. dipl. psih.,  
doc. dr. Katja Groleger Sršen<sup>1, 2</sup>, dr. med.

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

### Povzetek

Kronična nerakava bolečina povzroča trpljenje in trajnejše posledice v delovanju in kakovosti življenja od 3 do 5 odstotkov otrok, mladostnikov in njihovih družin. V svetu je že uveljavljen, pri nas pa vzpostavljamo interdisciplinarni program, ki obsega izobraževanje, pridobivanje vpogledov v bolečinsko simptomatiko ter njeno pojavnost, razumevanje bolečine in proces pojavljanja sprememb v terapiji. Pri tem nam je lahko že v času obravnave ter tudi pri prenosu in utrjevanju pridobljenih veščin v pomoč tehnologija. V prispevku opisujemo najbolj uveljavljene oblike tehnološke podpore: navidezno resničnost, aplikacije za podporo spremembi bolečinskega vedenja in tehnološko podporo pri učenju sproščanja in zavedanja. Predstavljamo tudi možnosti uporabe tehnologije v podporo družini in širšemu okolju.

### Ključne besede:

otroci; kronična bolečina; tehnologija

### Abstract

*Chronic non-malignant pain causes suffering and lasting consequences in the functioning and quality of life of 3-5 % of children, adolescents and their families. Interdisciplinary rehabilitation treatment is already established in some other countries, and we are in the process of establishing it at our institute. It includes education, gaining insights into pain symptoms and their occurrence, understanding of pain and the process of changes in therapy. Technology can help us with this already during the treatment, as well as in the transfer and consolidation of the acquired skills. In this paper, we describe the most established forms of technological support: virtual reality, applications to support the change of pain behaviour and technological support in learning relaxation and awareness. We also present the possibilities of using technology to support the family and wider environment.*

### Key words:

*children; chronic pain; technology*

## UVOD

Številni otroci in mladostniki se skozi razvoj in odraščanje spoprijemajo s prirojenimi ali pridobljenimi bolezenskimi stanji, ki povzročajo akutno ali kronično bolečino. Zadnje ocene kažejo, da naj bi se eden od štirih otrok v času svojega otroštva spoprijemal z vsaj eno epizodo kronične nerakave bolečine, ki traja tri mesece ali dlje in ni telesnega izvora (1–3). Od 3 do 5 odstotkov otrok in mladostnikov trpi tudi zaradi posledic tovrstne kronične bolečine (4, 5).

V skupino kronične nerakave bolečine umeščamo glavobole, bolečine v trebuhu, udih, hrbtu in križu, nevropatsko bolečino, kronično razširjeno bolečino, kompleksni regionalni bolečinski sindrom (KRBS), juvenilno fibromialgijo in bolečine, ki so posledica drugih zdravstvenih stanj, na primer spastičnosti in kontraktur pri cerebralni paralizi (6).

Tako bolečina kot tudi zdravstveni postopki lahko delujejo ogrožajoče ter krepijo stisko, anksioznost in tesnobo. Ne vplivajo le



na trenutno raven udobja, temveč so povezani s škodljivejšimi in dolgoročnejsimi posledicami; so dejavnik tveganja za razvoj vedenja, kot je izogibanje, zavirajo okrevanje, povzročajo motnje prehranjevanja in spanja, v najhujši obliki pa tudi razpoloženske in stresne motnje (7–9).

Doživljanje in razumevanje bolečine je pri otrocih in mladostnikih omejeno in je odvisno od njihove razvojne stopnje in predhodnih izkušenj z bolečino. Obravnava bolečine mora biti zato v tej populaciji še posebno prilagojena, kar pomeni, da mora vključevati tehnike, ki temeljijo na odvratanju pozornosti od bolečine in njenem razumevanju. Poleg tega je zelo pomembno, da za učinkovitejši prenos teh tehnik v domače okolje v obravnavo bolečine vključujemo otrokov širši socialni sistem (družina, šola) (3, 5, 7–9).

## Razlogi za vključevanje tehnološke podpore

Interdisciplinarna obravnava kronične bolečine je v tujini že dobro uveljavljen pristop zdravljenja pediatrične kronične bolečine, pri nas pa ga vzpostavljamo v zadnjih letih (10). Medtem ko je tovrstno specializirano zdravljenje za številne otroke in mladostnike dolgoročno učinkovito, nekateri bolniki nimajo trajnejše koristi (11). Zadostnih raziskovalnih podatkov o vzrokih slabše učinkovitosti sicer ni, na podlagi kliničnega opazovanja pa avtorji navajajo več verjetnih dejavnikov tveganja za neuspeh zdravljenja (9, 12), ki jih povzema transteoretični model (13).

Omenjeni model opisuje izzive, ki spremljajo spreminjanje neprilagojenega zdravstvenega vedenja. Po kratkem intenzivnem zdravljenju od treh do štirih tednov imajo lahko bolniki med prehodom od visoko strukturirane podpore, ki jo vodi tim, k samostojni uporabi v vsakdanjem življenju, težave pri posploševanju in ohranjanju individualnih ciljev terapije (9, 13). Nadalje, bolniki s sočasnimi psihološkimi težavami po interdisciplinarnem rehabilitacijskem programu pogosto ne zmorejo ali nimajo priložnosti za nadaljnjo psihološko obravnavo ali nimajo zadostne podpore v okolju, čeprav je to priporočljivo. Demografske, socialno-ekonomske, v zadnjem obdobju pa tudi epidemiološke razmere lahko otežujejo dostopnost do ustrezne obravnave (9–12).

Z namenom utrjevanja, pomoči in podpore pri prenosu naučenih tehnik in strategij za obvladovanje kronične bolečine v vsakdanje življenje ter tudi z namenom po preusmerjanju pozornosti ob spoprijemanju z bolečino se v rehabilitacijo in obravnavo otrok ter mladostnikov vse bolj vključuje tudi tehnologija (11). Glavni cilji take uporabe tehnologije so:

1. povečati dostop do zdravljenja,
2. povečati učinkovitost zdravljenja,
3. zmanjšati stroške zdravljenja ter
4. omogočiti podaljšano podporo pri prenosu znanja in krepitvi samonadzora (*angl.* self-management) v domačem okolju (11, 14, 15).

Obravnava kronične bolečine je proces, ki obsega:

- a.) pridobivanje vpogleda v simptomatiko,
- b.) razumevanje bolečinskega vedenja,
- c.) spreminjanje vzorca delovanja kot tudi bolečinskega vedenja.

Obravnava vključuje elemente različnih psihoterapevtskih pristopov in tehnik, med katerimi so z dokazi najbolj podprti vedenjsko kognitivni pristop, tehnike sproščanja, čuječnost ter elementi drugih terapevtskih smeri, na primer transakcijsko analitična in družinska psihoterapija (9, 16).

Tehnološko podporo pri obravnavi kronične bolečine pri populaciji otrok in mladostnikov lahko vključujemo v prav vse omenjene stopnje obravnave ter z njimi podpremo izvajanje posameznih terapevtskih pristopov (9, 14). V nadaljevanju prispevka smo opisali v praksi najpogosteje uporabljeno tehnološko podporo pri obravnavi kronične bolečine pri otrocih in mladostnikih: navidezno resničnost, aplikacije za spreminjanje bolečinskega vedenja, biološke povratne zanke pri učenju sproščanja ter tehnik zavedanja.

## NAJPOGOSTEJE UPORABLJENA TEHNOLOŠKA PODPORA

### Navidezna resničnost

Navidezna resničnost (NR) je razmeroma nova tehnika za obravnavo kronične bolečine. V proces zdravljenja so jo začeli vključevati na začetku 21. stoletja, ko je Hoffimen s sodelavci (17) dokazal, da uporaba navidezne resničnosti (program *Sneženi svet*, *angl.* SnowWorld) vpliva na zaznano nižjo jakost bolečine pri bolnikih z opekljami, tako pri odraslih kot tudi pri najstnikih (18). Od takrat je raziskovanje učinkovitosti NR v obravnavi kronične bolečine pri otrocih in mladostnikih v porastu (11, 18–21).

NR je sestavljena iz računalniško ustvarjenega okolja, ki omogoča orientacijo in tridimenzionalno (3D) interakcijo. To okolje, vključno s širokim vidnim poljem in sistemi za sledenje gibanju, je projicirano pred uporabnikove oči prek naprednih zaslonov, ki so nameščeni na njegovi glavi (*angl.* Head-mounted display). Vsebinska 3D projekcija so posnetki naravnih okolij ali iger, ki otroke in mladostnike še posebej privlačijo (6, 18).

NR je za otroke in mladostnike še posebno privlačna, ker:

- lahko ustvari **popolno vživljanje**, ki se kaže skozi subjektivni občutek prisotnosti v navideznem okolju. Ta občutek lahko vrednotimo prek samoporočanja, prav tako pa tudi s fiziološkimi odzivi (npr. sprememba frekvence srčnega utripa ali prevodnosti kože) in vedenjskimi spremembami (npr. neodzivnost na dražljaje iz zunanjega, realnega okolja) (6);
- **spodbuja interakcijo**. Nekateri programi NR ponujajo varno okolje za izvajanje gibov, ki si jih otroci v realnih okoliščinah, ki jih doživljajo kot nevarne, ne bi upali izvajati (19). Bolj ko se posameznik vživi v navidezno okolje, manj pozornosti namenja bolečini, posledično pa je učinek zmanjšanja bolečine večji (6);
- se jim **prilagodi**. Nekateri programi NR imajo možnost individualizacije – otroci in mladostniki si sami izbirajo navidezno okolje in elemente v njem, pa tudi svojo računalniško grafično podobo (avatar). Slednje krepi motivacijo (6, 15);

- nekateri programi NR omogočajo **utelešenje** (*angl.* embodiment), kar pomeni, da so oni del NR in tako lahko opazujejo sebe. Če želijo svojemu avatarju omogočiti gibanje, se morajo tudi sami gibati, kar szpodbuja gibanje in telesno dejavnost (6, 15).

Ob predstavljenih prednostih pa ima NR tudi omejitve. Uporaba metode je omejena glede na otrokovo razvojno stopnjo in je priporočljiva predvsem za otroke, starejše od osem let. Mlajši za uporabo NR potrebujejo stalno pomoč in vodenje odrasle osebe. Pred uporabo je treba izključiti težave z vidom. Težavo z uporabo NR lahko predstavljajo nekateri stranski učinki, ki se lahko pojavljajo neposredno po uporabi, na primer omotičnost, slabost, težave s presojanjem razdalje in zaletavanje v bližnje predmete. Pri mlajših otrocih lahko pride do tvorjenja lažnih spominov (6).

Študije, v katerih proučujejo učinkovitost NR, so v porastu. Avtorji ugotavljajo, da gre za učinkovit nefarmakološki pristop, ki odvrta pozornost od bolečine, posledično niža subjektivno zaznano jakost bolečine, občutke anksioznosti in katastrofiranja, krepi sproščenost in omogoča izboljšanje telesnih funkcij (6, 14, 18, 20). Ob uporabi NR so našli tudi zmanjšano uporabo medikamentozne, predvsem protibolečinske terapije, otroci in mladostniki pa so dostopnejši za hkratno terapevtsko obravnavo (npr. fizioterapevt lažje premika boleče dele telesa, ki jih sicer varujejo) (6, 14, 15, 18–21).

Pri kronični nerakavi bolečini v populaciji otrok in mladostnikov se je uporaba NR izkazala kot učinkovita pri obravnavi glavobolov, KRBS (6, 15), razširjene bolečine, nevropatske bolečine (6, 22) ter bolečine pri cerebralni paralizi (19).

Primer uporabe pri rehabilitaciji otrok in mladostnikov s kronično bolečino je uporaba aplikacije NR FruityFeet (slika 1) (15). Posebej uporabna je pri tistih posameznikih, ki poročajo o intenzivnejšem strahu pred gibanjem, saj je namenjena aktivaciji zgornjih in spodnjih udov (zato še posebno učinkovita pri KRBS) ter premagovanju strahu pred gibanjem.

Igralec utelesi avatarjeve roke in noge za stiskanje navideznega sadja. Njegova naloga je, da potepta čim več sadja pred iztekom časa. Nagrajen je s številom točk glede na hitrost in število pretlačenih sadežev. Igralec lahko ves čas spremlja čas in ga primerja s predhodnimi, ob tem pa si prizadeva za postavljanje novih rekordov.

Desna slika ponazarja možnost nastavitvev, ki omogoča individualizacijo igre. Strokovnjak izbere stopnjo zahtevnosti, to je pogostost pojavljanja sadja. Funkcija levo-desno omogoča usmerjanje igre na tisto telesno stran bolnika, na kateri ima bolečine in je posledično slabše funkcionalna. Velikost sadja vpliva na višino dvigovanja udov. Nastavitve omogočajo tudi usmerjanje in s tem večji poudarek na zgornje ali spodnje ude. Zrcaljenje udov omogoča eksperimentalni način, ki zrcali navidezni ud, podobno kot terapija z zrcali. Povečevanje stopal/rok ponuja eksperimentalni način, ki vpliva na povečanje gibanja stopal in rok navideznega avatarja (povečava povzroči, da se navidezni avatar premakne dlje, kot se je bolnik premaknil v resničnem svetu, pomanjšanje pa povzroči, da se navidezni avatar premakne manj kot bolnik v resničnem svetu) (15).

### Aplikacije za podporo spremembi bolečinskega vedenja

Samoupravljanje (*angl.* self-management) je opredeljeno kot medsebojno delovanje na zdravje vezanega vedenja in s tem povezanih procesov, v katerih sodelujejo bolniki in njihove družine, da bi poskrbele za kronično stanje. Samoupravljalni posegi za spoprijemanje s kronično bolečino posameznikom zagotavljajo kombinacijo znanja (edukacija), strategije za obvladovanje simptomov (npr. različne tehnike kognitivno-vedenjske terapije) in socialno podporo. Pomembno podporo učenju in treningu samoupravljanja ponudijo na tehnologiji temelječe zdravstvene intervencije, kot so pametni telefoni in spletne strani. Postajajo namreč učinkovit način v procesu zdravljenja in rehabilitacije kronične nerakave bolečine pri otrocih in mladostnikih. Dostop do interneta in tehnologije (npr. pametni telefoni) je v populaciji



Slika 1: Primer igre FruityFeet (levo) in prikaz možnosti individualnega prilagajanja nastavitvev (desno) (14).

Figure 1: Example of a game FruityFeet (left) and demonstration of individual settings (right) (14).

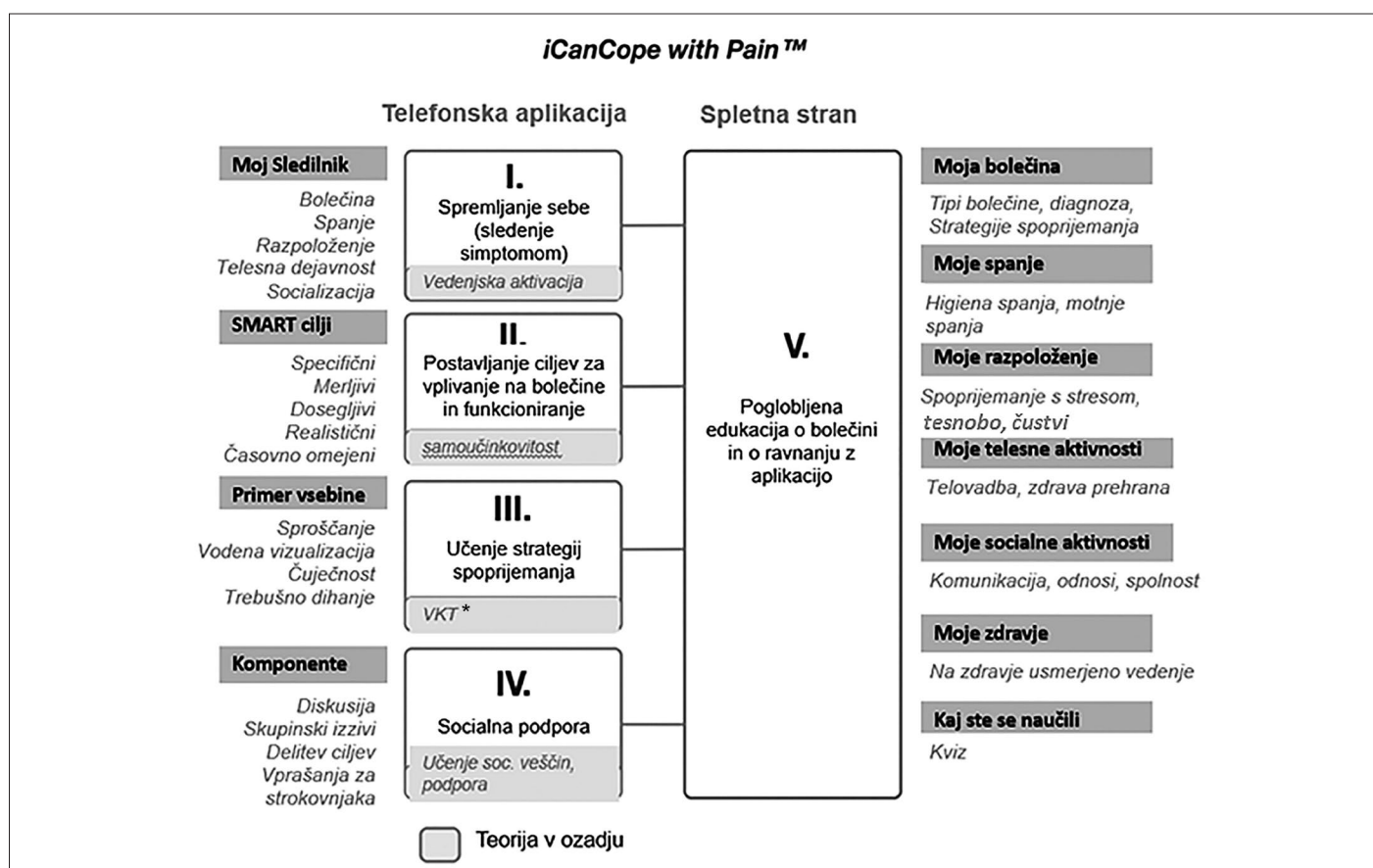
razširjen in dostopen tudi posameznikom različnih razvojnih skupin in socialno-ekonomskih okolij (23–25).

Prednosti tovrstnih aplikacij so, da so visoko strukturirane, individualno zasnovane, interaktivne, krepijo samovodenje, so dostopne (časovno, geografsko in cenovno) in z dokazi podprte (26). Vse bolj izpopolnjeno programiranje je podprlo razvoj interaktivnih programov, ki se lahko prilagajajo posameznikovim odzivom in ustvarjajo prilagojene vsebine. Da bi spodbudili sodelovanje bolnikov, se lahko uporabljajo tudi aplikacije za pametne telefone, interakcije, podobne igri, znane kot »gamifikacija«, na primer imeti avatarja in prislužiti točke, ki so lahko še posebno zanimive za otroke in mladostnike (23, 25–27). Njihova največja pomanjkljivost je premajhna vključenost strokovnjakov, terapevtov. Prav zaradi razvojnih sposobnosti otrok je zato uporaba aplikacij priporočljiva le za otroke, starejše od 10 let (23).

Aplikacije za spoprijemanje s kronično bolečino so zelo različne. Najosnovnejše so usmerjene v edukacijo in dajejo informacije o različnih temah s področja kronične bolečine. Nadgradnjo edukativnih aplikacij predstavljajo dodana orodja, ki omogočajo izbiro in odločanje ter tako izboljšujejo upoštevanje smernic na dokazih podprte klinične prakse, ki temeljijo na dokazih (28). Najbolj učinkovite so kompleksnejše aplikacije (npr. iCanCopewithPain™ (27), WebMAPmobile (26)), katerih cilj je aktivacija bolnika. Kompleksnejše aplikacije temeljijo na načelu

interdisciplinarnega programa in se mu poskušajo približati tako po vsebini kot po časovnem obsegu. Poskušajo jih namreč opolnomočiti ter spodbuditi k prevzemanju aktivnejše vloge v skrbi in pri obvladovanju bolečin ter vračanju v vsakdanje življenje (23, 26–28). Tovrstne kompleksnejše aplikacije sledijo načelom interdisciplinarnega pristopa in združujejo biološke procese, psihološke in sociokulturne dejavnike ter vključujejo strategije za obvladovanje simptomov (npr. vedenjsko kognitivna terapija, sproščanje) ter z namenom spodbujanja optimalnih rezultatov vključujejo tudi socialno podporo. Njihov časovni razpon je tri mesece, omogočajo pa tudi daljše obdobje spremljanja (26–28).

V nadaljevanju je predstavljen primer kompleksnejše aplikacije za spoprijemanje z bolečino iCanCopewithPain™, ki je namenjena mladostnikom (26) (slika 2). Tako kot pri interdisciplinarnih programih se krepitev samonadzora tudi pri tej aplikaciji začne s teorijo vedenjske aktivacije, prek katere poskušamo mladostnika spodbuditi za nadaljnje sodelovanje. Opisana prva stopnja aplikacije mladostnikom prek nadzorovanega spremljanja omogoči in jih uči prepoznavanja, spremljanja ter razumevanja vzorcev lastnega bolečinskega vedenja in pridruženih simptomov v času in glede na okoliščine. Spremenljivke, ki jih aplikacija spremlja, so bolečina, spanje, razpoloženje, telesna aktivnost in socialna aktivnost. Te so se v začetnih intervjujih izkazale kot pomembne. Prek grafov in zanje prilagojenih poročil aplikacija otrokom daje povratno informacijo.



Op.: \*Vedenjsko kognitivna terapija

Slika 2: Primer poteka dela po aplikaciji iCanCopewithPain™(26).

Figure 2: Example of workflow in application iCanCopewithPain™ (26).



Sledi naslednji del, to je postavljanje ciljev, ki je zasnovano z namenom, da mladostnike spodbuja k ustvarjanju želenih učinkov pri nalogi ali vedenju, ki vpliva na njihovo življenje. Vodi jih pri postavljanju strukturiranih ciljev, da bi zmanjšali bolečino in izboljšali delovanje (spanje, razpoloženje, telesno in socialno dejavnost ter vključevanje v zdravstveno varstvo). Pri tem se učijo tehnike SMART. Ime je akronim za specifične, merljive, dosegljive, realne in časovno omejene cilje (*angl.* specific, measurable, achievable, realistic, timed). Aplikacija uporabnikom ponuja opomnike in pozitivne povratne informacije o njihovem napredku ter doseganju ciljev.

Glede na posameznikove individualno postavljene cilje aplikacija omogoča tudi prilagojene tehnike in vaje, ki izhajajo iz vedenjsko kognitivnega terapevtskega pristopa in vključuje strategije, kot so mišično sproščanje, vizualizacija in globoko trebušno dihanje, pa tudi vadbo reševanja problemov in socialnih veščin.

Del aplikacije, namenjen socialni podpori, izhaja iz teorije socialnega učenja, ki opisuje učenje v interakciji skozi neposredno izkušnjo, opazovanje in prek povratne informacije. Mladostniki dobijo tukaj priložnost, da prek vodenih diskusijskih skupin vstopajo v interakcije z vrstniki in medsebojno delijo izkušnje s spoprijemanjem s kronično bolečino. Imajo tudi priložnost za pogovor s strokovnjaki (26).

Raziskave kažejo, da izvajanje terapij v navideznem okolju pomembno izboljša dostopnost do obravnave, saj zmanjšajo geografske in ekonomske omejitve ter zagotavljajo 24-urni dostop do informacij o bolezni in do strategij za obvladovanja bolečine. Vse več je tudi dokazov, da so po učinkovitosti (izboljšanje funkcionalnosti, upad intenzitete bolečine in bolečinskega vedenja) primerljive z obravnavami, ki potekajo v živo (24, 26–28).

## Tehnike sproščanja in zavedanja

Tehnike sproščanja (npr. globoko trebušno dihanje, napredujoče sproščanje mišic, vizualizacija) in tehnike zavedanja (npr. različne oblike čuječnosti) predstavljajo v rehabilitaciji kronične nerakave bolečine pri otrocih in mladostnikih z dokazi podprte učinkovite nefarmakološke pristope. Učinkovite so pri zmanjševanju jakosti bolečine, anksioznosti in depresije ter omejujejo in zmanjšujejo uporabo zdravil. Spodbujajo plastičnost možganov, kar prispeva k doseganju terapevtskih sprememb (29).

Pomembno tehnološko podpira učenje sproščanja »biofeedback« ali biološka povratna zanka, ki pomaga pri učenju samoregulacije. Istoimenski instrument je prek elektrod povezan s posameznikovo kožo ter oddaja svetlobne ali zvočne signale določenih frekvenc, ti pa nam poročajo o posameznikovi vznemirjenosti oziroma sproščenosti (srčni utrip, temperatura in mišična napetost). Tako omogoča vpogled v notranje doživljanje in krepi stik z njim, kar je pri otrocih in mladostnikih s kronično bolečino lahko pogosto omejeno. Metoda poteka tako, da se oseba udobno namesti, pri tem pa se poskuša sproščati. Vseskozi dobiva povratno informacijo o svoji vznemirjenosti ali sproščenosti. Ko se posameznik nauči sproščanja, lahko to naredi brez naprave z biološko povratno

zanko, svojo sprostitvev pa lahko tudi poglobi (30, 31). Poznamo dve vrsti biološke povratne zanke:

1. Klasično pogojevanje in učenje povratnih informacij: to je model učenja, ki uporablja posledice kot sredstvo za spreminjanje vedenja. Biološka povratna zanka poda povratno informacijo (ojačitev signala), ki spodbudi bolnike k spremembi svoje telesne reakcije. Ugodno telesno delovanje, ki kaže na sproščenost, je »nagrajeno« z drugačnim signalom (pozitivna okrepitev).
2. Del psihofiziološke psihoterapije: bolnikom, ki trpijo za stresno pogojeno boleznijo, lahko biološka povratna zanka pomaga z uporabo psihofiziološkega psihoterapevtskega modela učenja, v katerem je bistveno razumevanje pacienta kot posameznika. Tehnike za obvladovanje stresa in drugi psihoterapevtski ukrepi se lahko uporabljajo v kombinaciji z biološko povratno zanko. Ta pomaga bolnikom prepoznavati, kako stres vpliva na njihovo telesno delovanje. Ta model vključuje tudi poglobljeno psihološko delo na prepoznavanju posameznikovih misli in vedenjskih vzorcev, ki prispevajo k fiziološki ranljivosti pacienta (31).

Največ raziskav o učinkovitosti biološke povratne zanke s področja kronične nerakave bolečine v populaciji otrok in mladostnikov je bilo narejenih na področju glavobola, pri katerem se je pristop izkazal kot zelo učinkovit (29, 32). Prav tako je pristop učinkovit v obravnavi razširjene bolečine in kompleksnega regionalnega sindroma (30).

Na Oddelku za (re)habilitacijo otrok uporabljamo biološko povratno zanko predvsem pri tistih otrocih in mladostnikih, ki imajo šibkejšo zmožnost vpogleda vase in mentalne predstave. Večinoma začnemo z biološko povratno zanko, ki temelji na klasičnem pogojevanju in tako otrokom in mladostnikom omogočimo, da začnejo prihajati v stik z lastnimi telesnimi odzivi in se jih zavedati. Ko že dobro prepoznavajo svoj lastni vpliv (pomen samoregulacije) na telesno odzivanje, preidemo na psihofiziološko psihoterapijo, pri čemer se učimo prepoznavanja vplivov misli in čustev na fiziološke odzive.

## Podpora družini, šoli

Vpliv kronične bolezni na otroka ali mladostnika in celotno družino ter širše okolje je dobro prepoznano. Kronično bolezensko stanje, kot je kronična bolečina, je pomemben stresni dejavnik, ki povzroča številne spremembe v družinskem sistemu. Pomembno vpliva na vse člane družine in doživljanje stiske. Številne raziskave poudarjajo medsebojno povezanost članov družine, kar vpliva tako na psihosocialno delovanje celotne družine kot delovanje posameznega člana v družini. Terapevtski ukrepi, ki vključujejo družinski sistem in širše socialno okolje, so zato pri obravnavi kronične bolezni in rehabilitaciji kronične bolečine pri otrocih in mladostnikih nujni. So pomembna komponenta optimalne psihosocialne obravnave. Vključevanje družine in širšega okolja omogoča, da smo v pomoč vsem: otroku, družini in širšemu okolju, s čimer optimiziramo učinke terapevtskih ukrepov za otroka/mladostnika (33–35).



Tehnologija, kot so elektronske in mobilne naprave ter medmrežje, v primerjavi z običajnim načinom z osebnim stikom, omogočajo drugačne in dostopnejše načine izvajanja terapevtskih ukrepov, usmerjenih k družini in v širše okolje. Terapijo z osebnim stikom lahko podpirajo, dopolnjujejo ali pa se izvajajo namesto tovrstne terapije. Uporaba tehnologije omogoča preseganje številnih ovir, značilnih za terapijo z osebnim stikom, saj omogoča večjo časovno in krajevno prilagodljivost. Prav tako omogoča vključevanje večjega števila družinskih članov, vključevanje tistih članov družine, ki so v drugem kraju ali imajo do običajnega terapevtskega ukrepa (z osebnim stikom) zadržke. Primerna je tudi za tiste člane družine ali širšega okolja, ki menijo, da bi jih obisk v zdravstveni ustanovi stigmatiziral. Ukrepi s pomočjo tehnologije izboljšujejo tudi dostopnost in učinkovitost z dokazi podprtih terapevtskih ukrepov. Starši navadno uporabljajo medmrežje za pridobivanje informacij, povezanih z zdravjem, komunikacijo z zdravstvenimi delavci in povezovanje v podporne starševske skupine (33).

V raziskavi Canterjeve in sodelavcev (33) so zaradi naraščanja števila uporabe terapevtskih ukrepov s pomočjo tehnologije želeli predstaviti njihovo učinkovitost za družine in otroke s kroničnimi boleznimi. Rezultati vključenih študij kažejo, da so ukrepi prek elektronskih naprav v splošnem učinkoviti in pozitivno vplivajo na družinske konflikte, spreminjanje vedenja staršev, učinkovitost staršev, starševske veščine reševanja problemov, odnos starši – otrok in sodelovanje s starši. Večina raziskav je dopolnjevala terapevtske ukrepe z osebnim stikom z ukrepi prek elektronskih naprav (33).

Eden od pomembnih terapevtskih ukrepov pri obravnavi kronične bolečine je poučevanje, izobraževanje družine in širšega okolja. Vključevanje spoznanj nevroznanosti in biopsihosocialnega modela bolečine staršem in pomembnim drugim omogoča razumevanje pomembnih dejstev o kronični bolečini, kako so različni dejavniki med seboj povezani in prispevajo k doživljanju in obravnavi bolečine ter pomen in učinek psiholoških ukrepov (34, 35). Pomembno je, da starši razumejo in podprejo koncept bolečine v obravnavi, da bi lahko sprejemali terapevtske ukrepe in nasvete in bili v pomoč otroku/mladostniku, ga spodbujali v vključevanje v aktivnosti kljub prisotnosti bolečine, ga spomnili in vodili, da uporablja veščine spoprijemanja, ki se jih uči in ki podpirajo njegovo delovanje. Poučevanje je pravzaprav dalj časa trajajoč proces in v času terapevtske obravnave se lahko tudi večkrat ponovi. Intenzivnost vključevanja staršev v izobraževanje je odvisna od otrokove starosti in razvojne ravni (34).

Vsebine, povezane z zdravjem, so od začetka obstoja medmrežja širše dostopne in predstavljajo pomemben način pridobivanja informacij glede obvladovanja zdravja in svojega stanja ter odločitev, povezanih z zdravjem, vključno z informacijami o bolečini. Preden video vsebine ponudimo uporabnikom, je nujno, da pregledamo trenutne in svetujemo glede ogleda primernih vsebin ter se pogovorimo o že pogledanih vsebinah. Heathcotova (36) je s kolegi sistematično raziskala kakovost objavljenih video vsebin na Youtube strani. Dostopnih je veliko video vsebin, iz gledanosti pa je razvidno, da ljudje pridobivajo informacije o bolečini na ta način. Videi, ki so bili kratki, in videi, ki so vklju-

čevali animacije, so bili bolj gledani. Le malo jih je vključevalo vsebine o nevroznanosti o bolečini, le en video je vključeval vseh sedem bistvenih konceptov o nevroznanosti o bolečini – »Tame the Beast: It's Time to Rethink Persistent Pain«. Dodatne raziskave so nujne, da bi ugotovili, katere video vsebine pritegnejo uporabnike in ali jih lahko uporabljamo za spodbujanje učinkovitega učenja in spremembe vedenja (36).

Izobraževalne video vsebine na spletu, prosto dostopne vsebine na spletu ali terapevtska srečanja prek spletne povezave so priložnosti za poučevanje družine in širšega okolja o bolečini.

Kronična bolečina pri mladih lahko pomembno negativno vpliva tudi na različna življenjska področja in širše socialno okolje, kot je obiskovanje šole, slabše sodelovanje pri vsakodnevnih aktivnostih, zunajšolskih dejavnostih, odnosih in druženju z vrstniki (35). Poučevanje strokovnih delavcev šol in vrstnikov o kronični bolečini (kaj doživlja mladostnik, kako se to odraža, kaj mu je v pomoč itn.) lahko pomembno vpliva na otrokovo/mladostnikovo počutje in doživljanje bolečine ter vključevanje v dejavnosti v družini in širšem okolju.

Pomembno je, da starše, strokovne delavce šol ali druge pomembne osebe v širšem okolju seznanimo s tem, da otrok/mladostnik uporablja neko mobilno aplikacijo, pametno uro ali vsebine na medmrežju, kakšna sta pomen in namen uporabe tehnologije ter kako lahko otroka/mladostnika spodbujajo k njihovi uporabi.

Za starše so na Seattle Childrens' hospital s premislekom (za otroke in mladostnike so raje razvili mobilno aplikacijo) razvili spletno stran WebMAP Internet Program (26, 37), da bi omogočili večjo dostopnost obravnave kronične bolečine. Na spletni strani so staršem na voljo moduli, ki temeljijo na vedenjsko kognitivni terapiji in katerih cilj je sprememba vedenja, povezanega z bolečino. Teme, ki so staršem na voljo v osemtedenskem programu, so poučevanje o kronični bolečini, prepoznavanje stresa in negativnih čustev, strategije ojačevanja 1 (uporaba pozornosti in pohvale za spodbujanje pozitivnega spoprijemanja), strategije ojačevanja 2 (uporaba nagrad za spodbujanje pozitivnega spoprijemanja, strategije za podporo doseganja šolskih ciljev), modeliranje, higiena spanja in življenjski stil, komunikacija, preventiva pred ponovitvijo težav (26, 37). Izsledki raziskave, ki so jo izvedli Palermo in sodelavci (37) o učinkovitosti spletne strani, kažejo, da je večina mladih in staršev uporabljala spletno stran, vendar jih je samo 30 odstotkov dokončalo program. Večja vključenost v program je bila povezana z večjim zmanjšanjem bolečine in zmanjšanimi funkcijskimi zmožnostmi, povezanimi z bolečino. Mladi, ki so uporabljali aplikacijo, so poročali o večjem izboljšanju (splošni vtis spremembe) (37). Aplikacija in spletna stran v Sloveniji nista na voljo. Za izobraževanje staršev in drugih v širšem okolju prek spleta, ki dopolnjuje običajni način izobraževanja v živo, uporabljamo vsebine, ki smo jih sami pripravili za predvajanje na računalniku in jih prilagodili potrebam uporabnika ter so nam večkrat v pomoč.

## ZAKLJUČEK

Navidezna resničnost, aplikacije za spreminjanje bolečinskega vedenja in uporaba biološke povratne zanke za učenje sproščanja so tri temeljne oblike tehnološke podpore pri obravnavi kronične bolečine, ki jih v omejenem obsegu vključujemo tudi v rehabilitacijo otrok in mladostnikov pri nas. Kljub nekaterim pomanjkljivostim tehnološko podporo prepoznavamo kot pomemben prispevek v rehabilitaciji otrok in mladostnikov, ki se spoprijemajo s kronično bolečino, zato si bomo še naprej prizadevali vpeljati tehnologijo kot pomemben podporni del obravnave in ga umestili v klinično pot.

### Literatura:

1. Assessment and management of children with chronic pain: a position statement from the American Pain Society. Dostopno na: <https://da7648.approby.com/m/3063bf5632bf22e3.pdf> (citirano 25. 1. 2022).
2. King S, Chambers CT, Huguet A, MacNevin RC, McGrath PJ, Parker L, et al. The epidemiology of chronic pain in children and adolescents revisited: a systematic review. *Pain*. 2011;152:2729–38.
3. Coakley R, Wihak T. Evidence-based psychological interventions for the management of pediatric chronic pain: new directions in research and clinical practice. *Children (Basel)*. 2017;4(2):9.
4. Huguet A, Miró J. The severity of chronic pediatric pain: an epidemiological study. *J Pain*. 2008;9:226–36.
5. Stahlschmidt L, Zernikow B, Wager J. Specialized rehabilitation programs for children and adolescents with severe disabling chronic pain: indications, treatment and outcomes. *Children (Basel)*. 2016;3(4):33.
6. Won AS, Bailey J, Bailenson J, Tataru C, Yoon IA, Golianu B. Immersive virtual reality for pediatric pain. *Children (Basel)*. 2017;4(7):52.
7. Guidelines on the management of chronic pain in children. Geneva: World Health Organization; 2020.
8. Solé E, Sharma S, Ferreira-Valente A, Pathak A, Sánchez-Rodríguez E, Jensen MP, et al. The associations between sleep disturbance, psychological dysfunction, pain intensity, and pain interference in children with chronic pain. *Pain Med*. 2021:pna333.
9. Harrison LE, Pate JW, Richardson PA, Ickmans K, Wicksell RK, Simons LE. Best-evidence for the rehabilitation of chronic pain. Part 1: pediatric pain. *J. Clin. Med*. 2019;8:11–30.
10. Horvat Rauter B, Groleger Sršen K. Učinkovitost obravnave otrok in mladostnikov s kronično nerakavo bolečino. *Rehabilitacija*. 2020;19(2):16–23.
11. Dogan M, Hirschfeld G, Blankenburg M, Frühwald M, Ahnert R, Braun S, et al. Effectiveness of a psychosocial aftercare program for youth aged 8 to 17 years with severe chronic pain: a randomized clinical trial. *JAMA*. 2021;4(9):e2127024.
12. Zernikow B, Ruhe AK, Stahlschmidt L, Schmidt P, Staratzke T, Frosch M, et al. Clinical and economic long-term treatment outcome of children and adolescents with disabling chronic pain. *Pain Med*. 2018;19(1):16–28.
13. Prochaska JO, DiClemente CC. Stages of change in the modification of problem behaviors. *Prog Behav Modif*. 1992;28:183–218.
14. Bircckhead B, Eberlein S, Alvarez G, Gale R, Dupuy T, Makaroff K, et al. Home-based virtual reality for chronic pain: protocol for an NIH-supported randomised controlled trial. *BMJ Open*. 2021;11:e050545.
15. Griffin A, Wilson L, Feinstein AB, Bortz A, Heirich MS, Gilkerson R, et al. Virtual reality in pain rehabilitation for youth with chronic pain: pilot feasibility study. *JMIR Rehabil Assist Technol*. 2020;7(2):e22620.
16. Horvat Rauter B. Empirical evidence for transactional analysis psychotherapy for the treatment of chronic pain. *Transactional Anal J*. 2017;47(2):138–51.
17. Hoffman HG, Doctor JN, Patterson DR, Carrouger GJ, Furness TA. Virtualreality as an adjunctive pain control during burn woundcare in adolescent patients. *Pain*. 2000;85(1-2):305–9.
18. Ahmadpour N, Keep M, Janssen A, Rouf AS, Marthick M. Design strategies for virtual reality interventions for managing pain and anxiety in children and adolescents: scoping review. *JMIR Serious Games*. 2020;8(1):e14565.
19. Wang M, Reid D. Virtual reality in pediatric neurorehabilitation: attention deficit hyperactivity disorder, autism and cerebral palsy. *Neuroepidemiology*. 2011;36:2–18.
20. Nordgard R, Lag T. The effects of virtual reality on procedural pain and anxiety in pediatrics: a systematic review and meta-analysis. *Front. Virtual Real*. 2021;2:699383. Dostopno na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.699383/full> (citirano 25. 1. 2022).
21. Iannicelli AM, Vito D, Dodaro CA, De Matteo P, Nocerino R, Sepe A, et al. Does virtual reality reduce pain in pediatric patients? A systematic review. *Ital J Pediatr*. 2019; 30;45(1):171.
22. Brady N, McVeigh J, McCreesh K, Rio E, Dekkers T, Lewis JS. Exploring the effectiveness of immersive Virtual Reality interventions in the management of musculoskeletal pain: a state-of-the-art review. *Phys Ther Reviews*. 2021;26(1):1–14.
23. Shaygan M, Jaber A. The effect of a smartphone-based pain management application on pain intensity and quality of life in adolescents with chronic pain. *Sci Rep*. 2021; 23;11(1):6588.
24. Richardson PA, Parker DM, Chavez K, Birnie KA, Krane EJ, Simons LE, et al. Evaluating telehealth implementation in the context of pediatric chronic pain treatment during COVID-19. *Children (Basel)*. 2021;8(9):764.
25. Richardson PA, Harrison LE, Heathcote LC, Rush G, Shear D, Laloo C, et al. mHealth for pediatric chronic pain: state of the art and future directions. *Expert Rev Neurother*. 2020;20(11):1177–87.
26. Palermo TM, de la Vega R, Dudeney J, Murray C, Law E. Mobile health intervention for self-management of adolescent chronic pain (WebMAPmobile): protocol for a hybrid effectiveness – implementation cluster randomized controlled trial. *Contemp Clin Trials*. 2018;74:55–60.
27. Stinson JN, Laloo C, Harris L, Isaac L, Campbell F, Brown S, et al. iCanCope with Pain™: user-centred design of a web- and mobile-based self-management program for youth with chronic pain based on identified healthcare needs. *Pain Res Manag*. 2014;19(5):257–65.
28. Alexander JC, Joshi GP. Smartphone applications for chronic pain management: a critical appraisal. *J Pain Res*. 2016;26;9:731–4.
29. Shiri S, Feintuch U, Weiss N, Pustilnik A, Geffen T, Kay B, et al. A virtual reality system combined with biofeedback for treating pediatric chronic headache—a pilot study. *Pain Med*. 2013;14(5):621–7.
30. Santucci NR, Chogle A, Leiby A, Mascarenhas M, Borlack RE, Lee A, et al. Non-pharmacologic approach to pediatric constipation. *Complement Ther Med*. 2021;59:102711.

31. Frank DL, Khorshid L, Kiffer JF, Moravec CS, McKee MG. Biofeedback in medicine: who, when, why and how? *Ment Health Fam Med.* 2010;7(2):85–91.
32. Abu-Arafeh I, Razak S, Sivaraman B, Graham C. Prevalence of headache and migraine in children and adolescents: a systematic review of population-based studies. *Dev Med Child Neurol.* 2010;52:1088–97.
33. Canter KS, Christoffersin J, Scialla MA, Kazak, AE. Technology-focused family interventions in pediatric chronic illness: a systematic review. *J Clin Psychol Med Settings.* 2019; 26(1):68–87.
34. Kocehlin H, Locher C, Prchal A. Talking to children and families about chronic pain: the importance of pain education – an Introduction for pediatrics and other health providers. *Children (Basel).* 2020;7(10):179.
35. Harrison LE, Pate JW, Richardson PA, Ickmans K, Wicksell EK, Simons LE. Best – evidence for the rehabilitation of chronic pain. Part 1: pediatric pain. *J Clin Med.* 2019;8(9):1–19.
36. Heathcote LC, Pate JW, Park AL, Leake HB, Moseley GL, Kronman CA, et al. Pain neuroscience education on YouTube. *PeerJ.* 2019;7:e6603.
37. Palermo TM, de la Vega R, Murray C, Law E, Zhou C. A digital health psychological intervention (WebMAPMobile) for children and adolescents with chronic pain: results of a hybrid effectiveness – implementation stepped-wedgecluster randomized trial pain. *Pain.* 2020;161:2763–74.